

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

2017

Michal Hanáček

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra kybernetiky a biomedicínského**  
**inženýrství**

**Soubor laboratorních úloh I pro modulární**  
**výukovou platformu NI ELVIS**  
**Set of Laboratory Exercises I for Modular**  
**Educational Platform NI ELVIS**

2017

Michal Hanáček

## Zadání bakalářské práce

Student: **Michal Hanáček**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3901R039 Biomedicínský technik  
Téma: Soubor laboratorních úloh I pro modulární výukovou platformu  
NI ELVIS  
Set of Laboratory Exercises I for Modular Educational Platform  
NI ELVIS  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se s architekturou a možnostmi výukového a prototypového systému NI ELVIS.
2. Návrh koncepce úloh k výuce obvodů s operačními zesilovači pro NI ELVIS.
3. Návrh obvodového řešení úloh s operačními zesilovači pro NI ELVIS.
4. Sestavení, oživení a testování navržených zapojení.
5. Vytvoření sady laboratorních úloh včetně návodů do cvičení pro výuku techniky elektronických přístrojů.
6. Zhodnocení dosažených výsledků.

### Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] PUNČOCHÁŘ, Josef. *Operační zesilovače v elektronice*. Praha: BEN-technická literatura, 2002. 496 s. ISBN 80-7300-059-8.
- [2] NATIONAL INSTRUMENTS. *Technická dokumentace NI ELVIS*. Dostupné z: <http://www.ni.com/ni-elvis/>.
- [3] VLACH, Jaroslav, Josef HAVLÍČEK a Martin VLACH. *Začínáme s LabVIEW*. 1. vyd. Ilustroval Viktorie VLACHOVÁ. Praha: BEN - technická literatura, 2008. ISBN 978-80-7300-245-9.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Vladimír Kašík, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017

  
doc. Ing. Jiří Koziolek, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

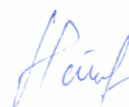
## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Datum odevzdání: 28. 4. 2017

Podpis:



## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Vladimíru Kašíkovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této práce.

Děkuji vždy velice ochotnému Jozefu Liptákovi a Martinu Koretzovi z technické podpory firmy National Instruments za poskytnutí cenných rad a informací ohledně platformy NI ELVIS II.

# Abstrakt

Účelem této bakalářské práce je vytvořit sadu laboratorních úloh, zaměřených především na problematiku operačních zesilovačů pro výuku předmětů Technika elektronických přístrojů a Měření na elektronických přístrojích. K měření a sběru dat byla použita pouze platforma NI ELVIS II a programové prostředí NI MultiSim a NI LabVIEW. Díky minimalizaci množství odborných přístrojů je možné efektivněji využít potenciál samotného moderního měření.

## Klíčová slova

NI ELVIS II, NI MultiSim, NI LabVIEW, laboratorní úloha, operační zesilovač

## Abstract

The purpose of this bachelor thesis is to create a set of laboratory exercises focused primarily on the issue of operational amplifiers for the teaching of subjects Technique of electronic instruments and measurements on electronic devices. It was used only NI ELVIS II platform and softwares NI MultiSim and NI LabVIEW for measuring and collecting data. It is able to utilize the potential of modern measurements thanks to a minimized amount of specialized devices.

## Key words

NI ELVIS II, NI MultiSim, NI LabVIEW, laboratory exercise, operational amplifier

# Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	8
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	9
SEZNAM TABULEK .....	10
SEZNAM SCHÉMAT.....	11
<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>12</b>
<b>2 NI ELVIS™ .....</b>	<b>13</b>
2.1 CO JE TO NI ELVIS II.....	13
2.2 PLATFORMA NI ELVIS V AKADEMICKÝCH OBORECH .....	14
2.3 CO OBSAHUJE NI ELVIS .....	15
2.4 VYMĚNITELNÉ PRACOVNÍ PLOCHY.....	16
2.5 NI ELVIS II SERIES PROTOTYPING BOARD.....	18
2.5.1 Popis prvků panelu.....	19
<b>3 PRACOVNÍ PROSTŘEDÍ.....</b>	<b>20</b>
3.1 NI MULTISIM.....	21
3.2 NI LABVIEW .....	22
<b>4 LABORATORNÍ ÚLOHY .....</b>	<b>23</b>
4.1 INVERTUJÍCÍ ZESILOVAČ A FREKVENČNÍ CHARAKTERISTIKY FILTRŮ .....	24
4.1.1 Invertující zesilovač .....	24
4.1.2 Frekvenční charakteristiky filtrů .....	26
4.2 PŘEVODNÍK NAPĚTÍ NA PROUD.....	27
4.3 DETEKTOR ZATMĚNÍ.....	29
4.4 MĚŘENÍ TEPLoty .....	31
<b>5 ZÁVĚR.....</b>	<b>33</b>
<b>6 ZDROJE.....</b>	<b>34</b>
<b>7 PŘÍLOHY .....</b>	<b>36</b>

# Seznam použitých symbolů a zkratek

$^{\circ}\text{C}$	Jednotka teploty – stupně Celsia
<b>2Wire</b>	Analyzátor statického signálu platformy
<b>atd.</b>	„a tak dále“
<b>DAQ</b>	Sběr dat (Data acquisition)
<b>DMM</b>	Digitální multimetr platformy
<b>DP</b>	Dolní propust
<b>f</b>	Frekvence [Hz]
<b>FGEN</b>	Frekvenční generátor platformy
<b>f<sub>m</sub></b>	Mezní frekvence
<b>G</b>	Grafický programovací jazyk
<b>GND</b>	Uzemnění (Ground)
<b>HP</b>	Horní propust
<b>Hz</b>	Jednotka frekvence – Hertz
<b>I</b>	Elektrický proud [A]
<b>K</b>	Jednotka teploty – Kelvin
<b>LED</b>	Dioda emitující světlo (Light Emitting Diode)
<b>mA</b>	Miliampér ( $1\text{ mA} = 1 \times 10^{-3}\text{ A}$ )
<b>mV</b>	Milivolt ( $1\text{ mV} = 1 \times 10^{-3}\text{ V}$ )
<b>NI</b>	National Instruments
<b>NI ELVIS</b>	Modulární výuková platforma firmy National Instruments (NI Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite)
<b>NI LabVIEW</b>	Laboratoř virtuálních nástrojů firmy National Instruments (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench)
<b>NTC</b>	Negativní teplotní koeficient (termistor)
<b>PP</b>	Pásmová propust
<b>SPICE</b>	Simulační program se zaměřením na integrované obvody (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis)
<b>T</b>	Teplota
<b>TTL</b>	Tranzistorově-tranzistorová logika (Transistor-transistor logic)
<b>tzn.</b>	„to znamená“
<b>U</b>	Elektrické napětí
<b>U<sub>CC</sub></b>	Napájecí napětí integrovaného obvodu
<b>V</b>	Jednotka elektrického napětí – Volt
<b>VA char.</b>	Voltampérová charakteristika
<b>V<sub>ef</sub></b>	Jednotka elektrického napětí – efektivní hodnota
<b>V<sub>p-p</sub></b>	Jednotka elektrického napětí – Volty v rozsahu špička-špička (Voltage peak to peak)
<b>VPS</b>	Regulovatelný zdroj napětí (Variable Power Supply)
<b>V<sub>rms</sub></b>	Jednotka elektrického napětí (root mean square) $V_{\text{rms}} = V_{\text{ef}}$
<b><math>\alpha</math></b>	Teplotní součinitel elektrického odporu
<b><math>\Omega</math></b>	Jednotka elektrického odporu – Ohm



# Seznam obrázků

Obrázek 1: NI ELVIS II [1] .....	13
Obrázek 2: Plug-in desky pro řešení analogových obvodů (vlevo) a digitální techniky [2] .....	16
Obrázek 3: Plug-in desky pro řešení mechatronických pohonů (vlevo) a mechatronických senzorů [3] .....	16
Obrázek 4: Plug-in desky pro řešení komunikace pomocí optických vláken (vlevo) a analogo/digitální komunikace [4] .....	17
Obrázek 5: Plug-in deska pro řešení ekologického inženýrství [5] .....	17
Obrázek 6: NI ELVIS II SERIES PROTOTYPING BOARD [6] .....	18
Obrázek 7: Ikona počítačové aplikace MultiSim .....	21
Obrázek 8: Zobrazení prostředí platformy v programu MultiSim .....	21
Obrázek 9: Ikona počítačové aplikace LabVIEW .....	22
Obrázek 10: Označení vývojového prostředí LabVIEW [9] .....	22
Obrázek 11: Zobrazení ikony Dvoupólového analyzátoru .....	27
Obrázek 12: Schématická značka a ukázka fotorezistoru [10] .....	29
Obrázek 13: Vzorec pro převod napětí na teplotu (NI LabVIEW) .....	32
Obrázek 14: Podrobný popis pracovních prvků platformy [4] .....	I
Obrázek 15: Podrobný popis NI ELVIS II PROTOTYPING BOARD [4] .....	II
Obrázek 16: Zobrazení vodivého spojení PROTOTYPING BOARD [6] .....	III
Obrázek 17: Detail nepájivého pole platformy .....	III
Obrázek 18: Detail výběru zobrazení elektrotechnické pro zobrazení v programu MultiSim .....	IV
Obrázek 19: Nastavení vlastností pracovního pole v programu MultiSim .....	V
Obrázek 20: Zobrazení testovacích vývodů zapojení ve schématu .....	VI
Obrázek 21: Prvky simulace .....	VI
Obrázek 22: Ukázka zařazení měřicí sondy .....	VII
Obrázek 23: Matematická operace v programu LabVIEW – Block Diagram .....	VIII
Obrázek 24: Matematická operace v programu LabVIEW – Front Panel .....	VIII
Obrázek 25: Vytvoření virtuálního prvku DAQ Assistant .....	IX
Obrázek 26: Prvek While Loop – Block Diagram .....	X
Obrázek 27: Příklad struktury Case .....	X
Obrázek 28: Detail připojení multimetru .....	XIV
Obrázek 29: Detail připojení statického analyzátoru .....	XVIII
Obrázek 30: Zobrazení vstupního napětí souběžně se vstupním napětím .....	XXIV
Obrázek 31: Simulace amplitudové charakteristiky filtru horní propusti .....	XXVI
Obrázek 32: Simulace amplitudové charakteristiky filtru dolní propusti .....	XXVI
Obrázek 33: Simulace amplitudové charakteristiky filtru pásmové propusti .....	XXVII
Obrázek 34: Amplitudová frekvenční charakteristika filtru horní propusti .....	XXVII
Obrázek 35: Amplitudová frekvenční charakteristika filtru dolní propusti .....	XXVIII
Obrázek 36: Amplitudová frekvenční charakteristika filtru pásmové propusti .....	XXIX
Obrázek 37: Amplitudová frekvenční charakteristika invertujícího zesilovače .....	XXIX
Obrázek 38: VA charakteristika zelené LED diody .....	XXXIX
Obrázek 39: Hodnoty proudu sériového převodníku U/I .....	XL

Obrázek 40: Hodnoty proudu paralelního převodníku U/I.....	XLI
Obrázek 41: Paralelní zapojení obvodu s rozepnutým (vlevo) a sepnutým spínačem .....	XLII
Obrázek 42: Doložení druhého komparačního obvodu.....	XLIX
Obrázek 43: Výsledná verze programu (Block Diagram).....	LVII
Obrázek 44: Teplota měřená termistorem ve °C .....	LVIII
Obrázek 45: Struktura Case programu pro přepočet teploty ve °C (Block Diagram).....	LVIII
Obrázek 46: Struktura Case programu pro přepočet teploty v K (Block Diagram).....	LIX
Obrázek 47: Struktura Case programu pro přepočet teploty ve °C a K (Front Panel) .....	LIX
Obrázek 48: Teplota měřená termistorem v K .....	LX
Obrázek 49: Podrobně popsany program přepočtu teploty (LabVIEW).....	LXI

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Hodnoty výstupního napětí invertujícího zesilovače .....	XV
Tabulka 2: Hodnoty frekvencí jednotlivých filtrů.....	XXII
Tabulka 3: Hodnoty zesílení filtru horní propusti.....	XXII
Tabulka 4: Hodnoty výstupního napětí invertujícího zesilovače (ukázkový protokol).....	XXIII
Tabulka 5: Hodnoty frekvencí jednotlivých filtrů (ukázkový protokol) .....	XXVI
Tabulka 6: Hodnoty zesílení filtru horní propusti (ukázkový protokol) .....	XXVII
Tabulka 7: Hodnoty zesílení filtru dolní propusti (ukázkový protokol).....	XXVIII
Tabulka 8: Hodnoty zesílení filtru pásmové propusti (ukázkový protokol).....	XXVIII
Tabulka 9: Hodnoty zesílení invertujícího zesilovače (ukázkový protokol).....	XXX
Tabulka 10: Hodnoty proudu sériového převodníku.....	XXXVI
Tabulka 11: Hodnoty proudu paralelního převodníku .....	XXXVI
Tabulka 12: Hodnoty proudu sériového převodníku (ukázkový protokol) .....	XXXIX
Tabulka 13: Hodnoty proudu paralelního převodníku (ukázkový protokol).....	XL
Tabulka 14: Hodnoty fotorezistoru .....	XLVII
Tabulka 15: Vypočítané hodnoty napětěových děličů .....	XLVII
Tabulka 16: Naměřené a simulační hodnoty odporů.....	XLVII
Tabulka 17: Simulované hodnoty napětěových děličů.....	XLVII
Tabulka 18: Prakticky změřené hodnoty napětěových děličů .....	XLVII
Tabulka 19: Odpor fotorezistoru (ukázkový protokol) .....	XLVIII
Tabulka 20: Vypočítané hodnoty napětěových děličů (ukázkový protokol).....	XLVIII
Tabulka 21: Naměřené a simulační hodnoty odporů (ukázkový protokol).....	XLIX
Tabulka 22: Simulované hodnoty napětěových děličů (ukázkový protokol) .....	XLIX
Tabulka 23: Prakticky změřené hodnoty napětěových děličů (ukázkový protokol) .....	XLIX
Tabulka 24: Hodnoty odporu a vypočítaného napětí termistoru.....	LV
Tabulka 25: Naměřené hodnoty teploty ve °C .....	LV
Tabulka 26: Hodnoty odporu a vypočítaného napětí termistoru (ukázkový protokol) .....	LVII
Tabulka 27: Naměřené hodnoty teploty ve °C (ukázkový protokol) .....	LVII
Tabulka 28: Naměřené hodnoty teploty v K (ukázkový protokol).....	LIX

# Seznam schémat

Schéma 1: Schéma invertujícího zesilovače pro simulaci výstupního napětí .....	25
Schéma 2: Schéma filtru horní propusti pro měření frekvenčních závislostí.....	26
Schéma 3: Schéma zapojení převodníku napětí na proud – sériové zapojení .....	28
Schéma 4: Detektor zatmění (komparátor) .....	30
Schéma 5: Invertující zesilovač.....	XIII
Schéma 6: Filtr horní propusti.....	XVII
Schéma 7: Filtr dolní propusti.....	XIX
Schéma 8: Filtr pásmové propusti .....	XX
Schéma 9: Sériový převodník napětí na proud.....	XXXIV
Schéma 10: Paralelní převodník napětí na proud.....	XXXV
Schéma 11: Obecný nezatížený napěťový dělič.....	XLIV
Schéma 12: Detektor zatmění (50 %;50 %) .....	XLV
Schéma 13: Zařazení měřicích sond do obvodu.....	XLVI
Schéma 14: Zapojení teplotního prvku a měřicí soustavy .....	LIV

# 1 Úvod

V elektrotechnice a elektrotechnickém inženýrství je dnes běžnou praxí používat simulační programy s virtuálními nástroji. Těchto aplikací je nespočetné množství, ale v této práci se budou využívat pouze prvky od firmy National Instruments, aby bylo docíleno kompatibility mezi jednotlivými měřicími celky. Jedním z použitých programů je NI MultiSim, sloužící pro návrh schémat a následné provádění virtuální simulace obvodů. Druhým použitým programem je NI LabVIEW, určený k vytváření grafického prostředí virtuální laboratoře. K fyzickému testování byla použita modulární výuková platforma firmy National Instruments, známá pod názvem NI ELVIS II.

Druhá kapitola bakalářské práce se zabývá platformou NI ELVIS II. Obsahuje obecné seznámení se zařízením, jeho využití v akademických oborech, jaké elektrotechnické nástroje integruje, možnost výměny jednotlivých pracovních ploch a popis pracovního pole, které se bude využívat k praktickému měření. Podrobný popis jednotlivých částí platformy je uveden v přílohách.

Třetí kapitola je nazvána *pracovním prostředím*. Tato část obsahuje jednotlivé celky, které jsou v práci využity (NI MultiSim a NI LabVIEW). Jelikož tyto programy nejsou součástí výukových plánů, jsou v přílohách práce uvedeny základní návody, jak s nimi pracovat.

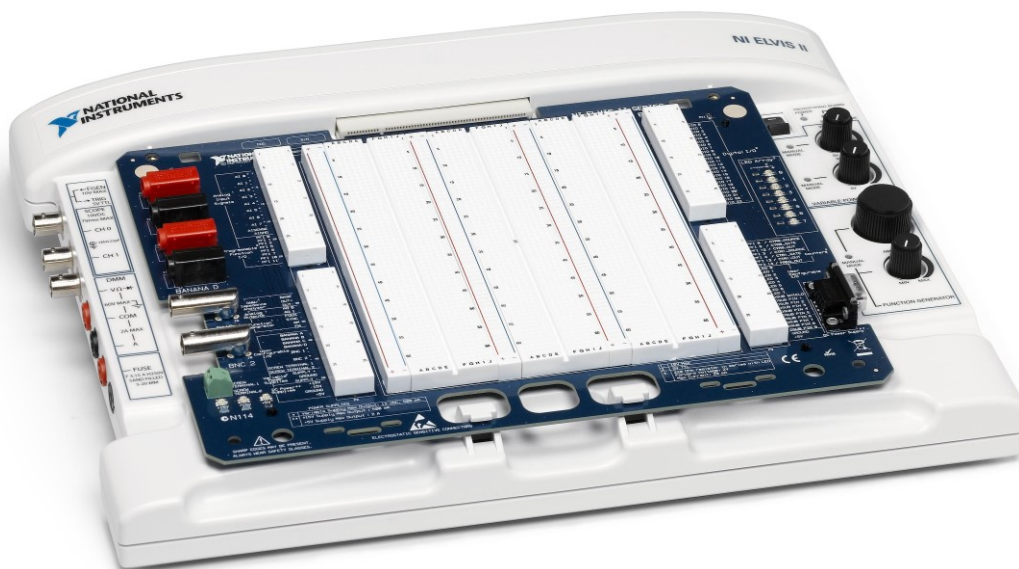
Poslední kapitola je věnována samotným laboratorním úlohám. Daná úloha je zde uvedena jako celek, v mnoha případech je obsahem schéma zapojení a úvod do problematiky, případně co je hlavním smyslem laboratorního měření. Bakalářská práce obsahuje zadání jednotlivých úloh, pracovní postup měření, kontrolní otázky a vzorově vypracovaný protokol. Tyto dokumenty jsou uvedeny jako přílohy.

## 2 NI ELVIS™<sup>1</sup>

Rychlý rozvoj v oblasti počítačového softwaru a DAQ systémů má velký vliv na styl výuky a vnímání elektronického inženýrství a strojírenství. V dnešní době je kladen velký důraz na zařízení, které poskytuje grafické rozhraní, možnost zaznamenávat výsledky a zpětnou vazbu. Odpovědí na tyto požadavky byla modulární výuková platforma firmy National Instruments – přístrojová soustava NI ELVIS II, která poskytuje systém DAQ založený na bázi LabVIEW pro přírodovědné a technické laboratoře [1].

### 2.1 Co je to NI ELVIS II

Je to prototypová platforma, která poskytuje dvanáct nejběžněji používaných elektrotechnických nástrojů, díky skvělému návrhu, důkladnému integrování s hardwarem, cenové dostupnosti, kvalitě a schopnostech zcela vyhovuje nárokům kladeným vysokoškolskými laboratořemi [2].



Obrázek 1: NI ELVIS II [1]

---

<sup>1</sup> NI ELVIS™ je opatřen ochrannou známkou. Tento symbol se používá pro označení ochranných známek chráněných podle *Common law*. TM označuje neregistrovanou známku a je používána zejména k propagaci výrobku [3]. V dalším textu se uvádí pouze NI ELVIS II.

## **2.2 Platforma NI ELVIS v akademických oborech**

Sada NI ELVIS II může být implementována do výuky v oblasti strojírenství, fyzikálních věd nebo biologických laboratoří a poskytnout tak praktické zkušenosti začátečníkům, ale i pokročilejším studentům [4].

### **Platforma NI ELVIS v inženýrství**

Sada je vhodná pro výuku základů elektroniky a návrhů obvodů studentům elektrotechniky, strojírenství a biomedicínského inženýrství. Studenti mohou využít odnímatelné NI ELVIS II PROTOTYPING desky přístroje a obvod si navrhout doma, tedy využít laboratorní čas efektivněji [4].

Platforma nabízí nástroje na zpracování signálu, jako je například analyzátor statického nebo dynamického signálu, což nabádá k úlohám zpracování signálů. Programová konstrukce filtrů v NI LabVIEW a fyzická konstrukce filtrů přímo na desce nepájivého pole umožňuje porovnání výsledků z hlediska přesnosti měření [4].

Pro studenty strojírenství poskytuje sada možnost měření snímačů a převodníků. Je možná instalace termočláňkového konektoru, který umožňuje zapojování termočláňkových spojů přímo na desce. Programovatelný napájecí zdroj může poskytnout buzení pro tenzometry používané při měření deformací [4].

### **Platforma NI ELVIS ve fyzikálních vědách**

V této disciplíně se typicky vyučuje elektronika a teorie elektronických obvodů. Sada poskytuje studentům příležitost implementovat vědomosti z oboru a využít tak platformu k úpravě signálů nebo pro zapojení senzorů, jako jsou optoelektronické násobiče nebo detektory světelných čidel [4].

### **Platforma NI ELVIS v biologických vědách**

Studenti biomedicínského inženýrství se potýkají s podobnými problémy jako studenti z oblasti strojírenství. Zpravidla si osvojí základy elektroniky a měří a používají nástroje, jako jsou například ty, které se používají k měření teploty [4].

Při měření teploty v základní sadě NI ELVIS II je hlavním nástrojem prvek virtuální laboratoře NI LabVIEW. Jedná se o programové prostředí, které funguje na principu odvození teplotních vzorců z hodnot napětí a odporu termistorů a následné vykreslení teploty.

Výrobci varují, že hardware sady NI ELVIS II není bezpečně uzavřen proti chemickým a biologickým aktivitám [4].

## 2.3 Co obsahuje NI ELVIS

Integruje dvanáct elektrotechnických nástrojů a díky tomu eliminuje potřebu nákupu většího množství stolních přístrojů a přináší tak značnou ekonomickou výhodu i pracovní komfort. Prostřednictvím grafického prostředí programu NI ELVISmx je možné lehce a efektivně přistupovat k virtuálním přístrojům [2].

- **Digitální multimetr**
  - Umožňuje měřit veličiny stejnosměrného napětí, střídavého napětí, stejnosměrné i střídavé hodnoty proudu, elektrický odpor, kapacitu, indukčnost nebo diodový test.
- **Osciloskop**
  - Umožňuje zobrazit dva kanály, modifikovat časovou základnu, funkci *autoscale*, nebo zobrazení kurzorů pro přesné měření.
- **Funkční generátor**
  - Umožňuje generovat signál v rozsahu až 5 MHz, dokáže vykreslit sinusový, obdélníkový, nebo pilovitý signál s nastavitelnou velikostí amplitudy a frekvence, podporuje amplitudovou a frekvenční modulaci.
- **Nastavitelný napěťový zdroj**
  - Umožňuje dodávat napětí od  $-12$  do  $+12$  V.
- **Analyzátor statického signálu**
  - Umožňuje nastavení frekvence a lineární nebo logaritmické osy.
- **Analyzátor dynamického signálu**
  - Umožňuje sejmout pouze jedné periody signálu *mode single*.
- **Generátor libovolného signálu**
  - Využívá program *Waveform Editor*, umožňuje načíst již uložený signál, podporuje vykreslování dvou signálů nezávisle na sobě.
- **Osmibitovou digitální směrnici pro čtení**
  - Umožňuje číst data z osmi po sobě jdoucích řádků zároveň.
- **Osmibitovou digitální směrnici pro zápis**
  - Umožňuje manuální tvorbu digitálního vzoru zápisu, případně volbu předdefinovaného zápisu, podporuje zapisování do osmi po sobě jdoucích řádků zároveň.
  - Zařízení je kompatibilní s TTL logickými obvody.
- **Impedanční analyzátor**
  - Umožňuje měření impedance a reaktance pasivních prvků na daném kmitočtu.
- **Dvoupólový analyzátor**
  - Zahrnuje testování parametrů diod, voltampérovou charakteristiku; zcela flexibilní nastavování parametrů grafu.
- **Troj pólový analyzátor**
  - Zahrnuje testování parametrů tranzistorů, voltampérovou charakteristiku; měření NPN i PNP tranzistorů.

[2]

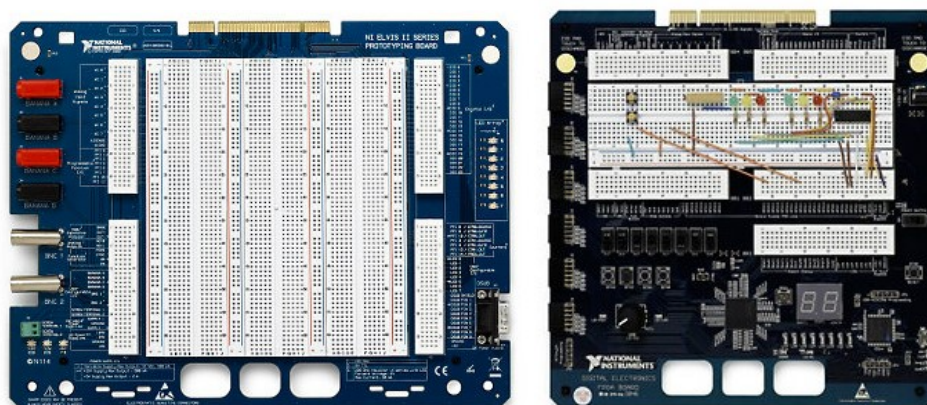
## 2.4 Vyměnitelné pracovní plochy

Platforma umožňuje výměnu zásuvných modulů označovaných jako *Plug-In Boards*, podporuje měřicí prostředí ať už se jedná o externí desky National Instruments nebo i jiných výrobců, jako je například Emona Instruments, Quanser Inc., NXP Semiconductors nebo Vernier Software & Technology [5].

Každá z těchto firem se specializuje na určité technologické odvětví – např. NI na analogovou a digitální elektroniku, Emona Instruments na telekomunikaci nebo Quanser Inc. na ovládací prvky a mechatroniku a distribuuje své specifické pracovní plochy [5].

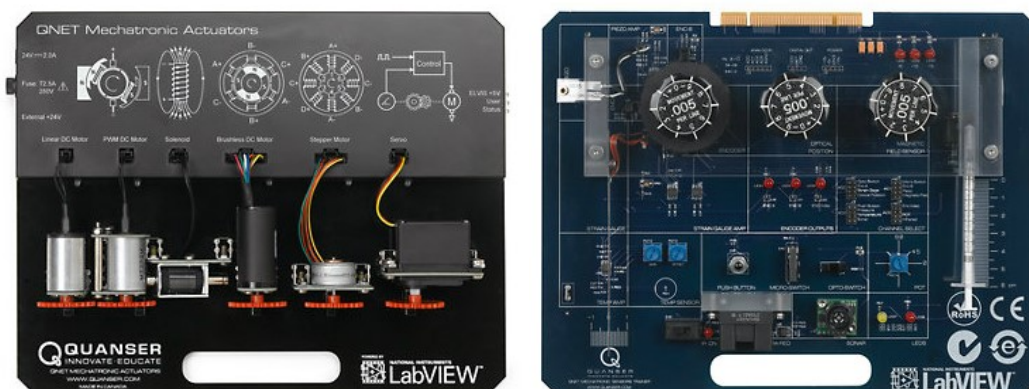
NI ELVIS II neslouží jen pro studijní účely, může se využít pro celou řadu technických aplikací, z těch základních působí v několika kategoriích: [5] [6]

- **Elektronické obvody a elektronika**
  - Zahrnuje řešení analogových obvodů, mikroelektroniky, digitální elektroniky a dalších.



Obrázek 2: Plug-in desky pro řešení analogových obvodů (vlevo) a digitální techniky [2]

- **Ovládací prvky a mechatronika**
  - Zahrnuje řešení fyziky a dynamiky; senzorů, pohonů, mechatronických rozhraní a mechatronických systémů.

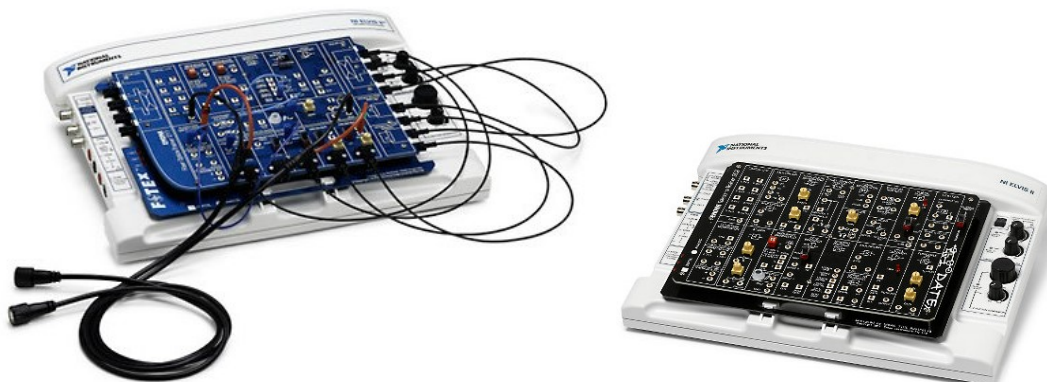


Obrázek 3: Plug-in desky pro řešení mechatronických pohonů (vlevo) a mechatronických senzorů [3]



- **Komunikační systémy**

- Zahrnuje řešení signálů a systémů, analogové a digitální komunikace a komunikace pomocí optických vláken.



Obrázek 4: Plug-in desky pro řešení komunikace pomocí optických vláken (vlevo) a analogo/digitální komunikace [4]

- **Energetická elektronika**

- Zahrnuje řešení energetických systémů a aplikací ekologického inženýrství; koncepce solárních článků, elektrolýzy a výkonu vodíkových palivových článků.

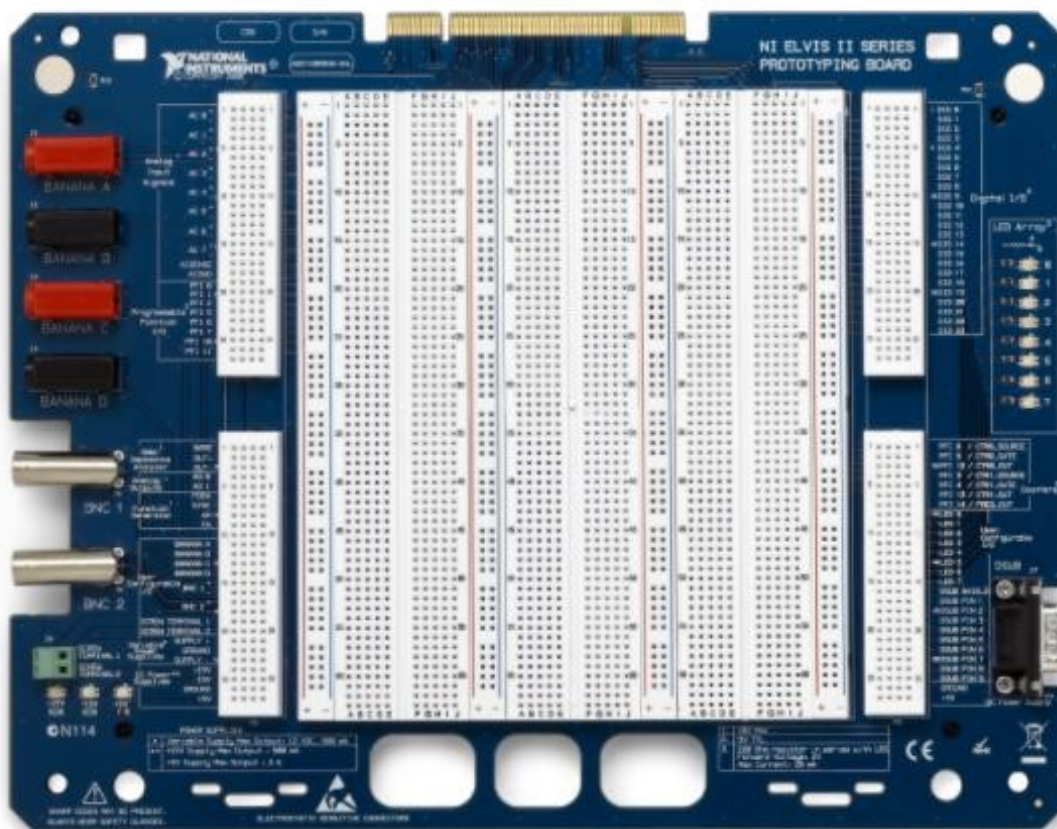


Obrázek 5: Plug-in deska pro řešení ekologického inženýrství [5]

Zařízení lze kombinovat s vyměnitelnými pracovními plochami a tím docílit specifických výsledků v daném odvětví. Všechny zásuvné desky jsou zcela ovládatelné pomocí NI LabVIEW a mohou být tedy ovládané dálkově [6].

## 2.5 NI ELVIS II SERIES PROTOTYPING BOARD

V práci se bude využívat deska s označením NI ELVIS II SERIES PROTOTYPING BOARD neboli vyjímatelná prototypová deska vývojové sady NI ELVIS II, která poskytuje vlastní vývojové prostředí pro uživatele.



Obrázek 6: NI ELVIS II SERIES PROTOTYPING BOARD [6]

Deska poskytuje širokou plochu nepájivých kontaktů, celkem sedm nepájivých polí s číselným a písemným označením jednotlivých pinů. Orientace vodivých spojení je u každého prvku jiná. Na největším poli je kombinován horizontální a vertikální směr, k čemuž účelně navádí barevné označení kladného a záporného napětí (případně nulového napětí) na bocích každého nepájivého kontaktního pole.

Centrální nepájivá plocha slouží pro vlastní realizaci zapojení, zatímco postranní, vedlejší pole jsou funkční – analogové vstupy pro přivedení signálu, piny pro vyvedení napájení a další. Podrobný popis celé PROTOTYPING BOARD je uveden v příloze práce (Příloha 2: Seznámení s nepájivým kontaktním polem platformy NI ELVIS II).

## 2.5.1 Popis prvků panelu

Panel obsahuje všechny výše uvedené elektrotechnické nástroje a ovladače. V příloze práce jsou podrobně uvedeny všechny prvky, se kterými se bude eventuálně pracovat (Příloha 1: Podrobný popis prvků platformy NI ELVIS II).

Pro celistvost a funkční hodnotu je v práci uvedena kompletně popsaná platforma. Pro měření se však bude využívat pouze několik funkčních celků soustavy.

Možnost měření pomocí platformy je určitým způsobem omezená. U zdrojů pevného napětí, jejichž funkčnost je signalizována LED diodami na samotné PROTOTYPING BOARD, jsou pojistky, které samy vypnou přívod napětí do vývodu, když je pin nevhodně připojen – například záměna kladného a záporného saturačního napětí operačního zesilovače. Stav sepnutí pojistky a vyřazení konkrétní zdířky zdroje napětí je vizuálně odlišen od funkčního prvku vypnutím signalizační LED diody u dané hodnoty napětí. Po odpojení vyměnitelné plochy od napětí (Obrázek 14, prvek 8) se tyto pojistky „restartují“ a po opětovném přivedení napětí na desku jsou zdroje opět funkční.

Digitální multimetr platformy (DMM) obsahuje také prvek, chránící vnitřní obvody před nadměrnými hodnotami napětí a proudu. Tato pojistka však pracuje na jiném principu. Jakmile dojde k přivedení hodnot vyšších, než jsou stanovené, pojistka se přepálí a musí se vyměnit uživatelem (Obrázek 14, prvek 2). Samotné měření na digitálním multimetru platformy probíhá pomocí vhodně zapojených banánkových konektorů (Obrázek 14, prvek 3). Toto zapojení je intuitivně zobrazeno na platformě i ve virtuálním prostředí digitálního multimetru.

Kontrolky v pravé horní části platformy (Obrázek 14, prvek 9) signalizují, zda je PROTOTYPING BOARD pod napětím – zelená LED dioda na panelu; nebo zda je připojena platforma pomocí USB konektoru k počítači, případně pokud dochází ke snímání dat – kontrolka bliká ve smyslu vzorkovací frekvence přístroje.

Některé přístroje platformy, jako je například regulovatelný zdroj napětí nebo funkční generátor, je možné ovládat manuálně. K tomuto účelu jsou v pravé části pracovního pole (Obrázek 14, prvek 10 a 11) uzpůsobeny otočné potenciometry. Je ale důležité spolupracovat současně s programovým prostředím platformy a zaškrtnout kolonku manuálního ovládání u daného prvku.

### 3 Pracovní prostředí

Pracovním prostředím je nazvána kapitola, věnována popisu propojení sady NI ELVIS II s počítačem a také popisu samotných programů, se kterými se v práci bude pracovat.

Platforma NI ELVIS II se pomocí USB kabelu rychle připojí k počítači a po automatické instalaci prostředí na daný port je ihned připravena k použití. Není tedy potřeba časově náročná instalace hardwaru. Toto je praktickým řešením mobility přístroje – je přenosný a může být okamžitě použit například v jiné laboratoři [2] [4].

Pro úspěšné spárování platformy a počítače je potřeba stáhnout a ručně nainstalovat ovladače, díky kterým budou obě zařízení komunikovat. Tyto ovladače – ELVISmx a DAQmx – jsou volně k dispozici na oficiálních stránkách firmy National Instruments. Během instalace ovladače hledají v systému prvky NI, se kterými jsou kompatibilní, a tedy s nimi komunikují tzn. že po instalaci bude možné například v programu NI MultiSim pracovat s pracovním polem vizuálně stejným jako samotná platforma (Obrázek 8). V programu NI LabVIEW je pak možné využívat prvek DAQ Assistantu, sloužící k přímému sběru dat z platformy (Příloha 4).

Pokud je tedy k dispozici počítač s danými programy, aktuálními ovladači a pokud je k zařízení připojena platforma NI ELVIS II, je možné měření ovládat zcela virtuálně a případně i dálkově.

Systémy pro získávání dat (DAQ) jsou výkonné nástroje, které mohou řešit širokou škálu technických problémů. Jedním z takových je série NI ELVIS II, která kombinuje hardware a software do kompletního laboratorního celku [4].

#### Volba pracovních programů

Jelikož je samotná platforma produktem firmy National Instruments, celá práce je orientovaná do tohoto prostředí. Díky tomu je jisté, že použité programy a platforma mezi sebou budou dokonale komunikovat.

Z uvedených prostředí je užíván program NI MultiSim pro návrh elektrotechnických schémát a jejich následnou simulaci. Virtuální simulace je v práci zastoupena ve značné míře. Druhým programem je NI LabVIEW, což je grafický programovací jazyk. Veškeré prvky platformy byly vytvořeny díky tomuto programu. K účelům této práce bude program sloužit pro virtuální sběr dat přímo z platformy díky prvku k tomu určenému (Příloha 4).

Studentské verze obou uvedených programů, stejně jako ovladače platformy, jsou zdarma k dispozici na oficiálních stránkách National Instruments. Platforma NI ELVIS II je určena primárně pro studijní účely, a tedy plně spolupracuje se studentskými verzemi programů. Obecně lze říci, že funkčnost technických prvků od NI není ve studentských verzích omezena.

### 3.1 NI MultiSim

MultiSim je průmyslový standart, nejlepší ve třídě SPICE simulačních prostředí. Je základním stavebním kamenem obvodové výuky a pomáhá vybudovat zkušenosti prostřednictvím praktického uplatnění návrhu a testováním elektrických obvodů [2].



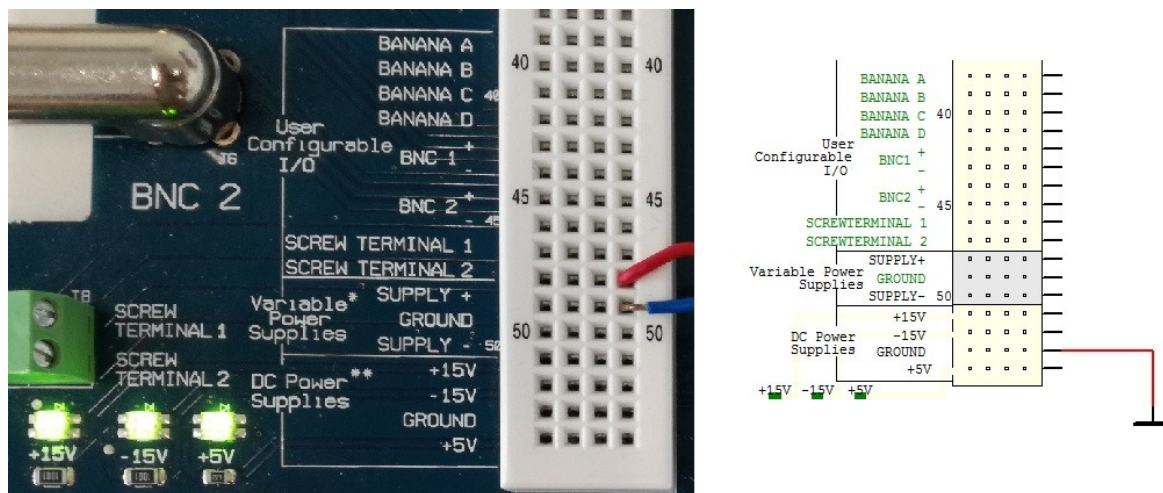
Obrázek 7: Ikona počítačové aplikace MultiSim

Program poskytuje 20 různých analýz, díky kterým studenti plně pochopí chování analogových, digitálních a výkonových obvodů. Zahrnuje analýzy od základní přechodové charakteristiky a simulace střídavých průběhů po simulaci zvuku [7].

MultiSim je vybaven více než 36 000 součástkami od předních výrobců polovodičových prvků – do kompletní knihovny jsou mimo jiné zahrnuty současně používané zesilovače, diody, tranzistory a spínané napájecí zdroje. Společně s možností simulace obvodů přímo v programu je pracovní čas využit efektivněji [7].

Jestliže je NI ELVIS II spárován s programem MultiSim, je docíleno efektivnějšího a ucelenějšího simulačního celku. Předpřipravené části základních obvodů jako jsou například jednotlivé zapojení s operačními zesilovači jsou volně k dispozici na internetových stránkách National Instruments [7].

V programu je také možné sestavit obvod přímo na NI ELVIS II schématu, které modeluje virtuální prototypovou desku, se stejným rozložením jednotlivých pinů jako ve skutečnosti [7].



Obrázek 8: Zobrazení prostředí platformy v programu MultiSim

Navrhnutý obvod tak může být přímo v programu simulován pomocí programového prostředí NI MultiSim, následně fyzicky realizovaný na platformě NI ELVIS II a výsledky jednotlivých měření mohou být porovnány. Toho se bude v práci značně využívat.

Návrhové a simulační prostředí NI MultiSim je ve své podstatě velice jednoduchý a intuitivní nástroj. Jakmile si uživatel osvojí základní klávesové zkratky (Příloha 3: Seznámení s návrhovým a simulačním programem NI MultiSim) a zorientuje se v pracovní ploše, dokáže nasimulovat v podstatě každý obvod pomocí rozsáhlých knihoven programu, jež integrují i prvky National Instruments. Po nainstalování ovladačů lze kromě klasické pracovní plochy použít i několik předdefinovaných (NI ELVIS I, NI ELVIS II, myDAQ). Program navíc spolupracuje s předchozími verzemi a je určen převážně pro studenty, takže veškeré ovladače, předdefinované návrhy i MultiSim samotný je zdarma ke stažení na oficiálních internetových stránkách produktu.

## 3.2 NI LabVIEW

LabVIEW je integrované vývojové prostředí, určené speciálně pro podporu produktivity inženýrů a vědců. Původem LabVIEW je grafický programovací jazyk (G), který používá diagram datových toků místo po sobě jdoucích řádků textu kódu. Vizuální náčrt celé programové struktury, která se podobá myšlenkové představě programátora pak dopomáhá k funkčnosti celého kódu. To znamená – méně času stráveného starostí o středníky nebo syntaxi kódu a více času stráveného nad řešením daného problému [8].



Obrázek 9: Ikona počítačové aplikace LabVIEW

Prostředí NI LabVIEW (někdy nazývané také jako G-jazyk) je vhodné nejen k programování systémů pro měření a analýzu signálů, řízení a vizualizaci technologických procesů různé složitosti, ale také k programování složitých systémů, jako je třeba robot [9].

Hlavním cílem virtuální instrumentace je nahradit dočasně nebo i trvale prostorově, finančně a mnohdy i časově náročné využití technických prostředků řešením virtuálním za přispění programových softwarů a zejména pak grafickými a vizuálními prostředky a zprostředkovat tak uživateli maximální názornost [9].



Obrázek 10: Označení vývojového prostředí LabVIEW [9]

Základ všech aplikací se kterými spolupracuje platforma je grafické návrhové prostředí NI LabVIEW. U jednotlivých virtuálních přístrojů je možné v programu otevřít příslušný zdrojový kód. Takto vytvořené prvky pak nesou označení programu (Obrázek 10).



## 4 Laboratorní úlohy

Laboratorní úlohy jsou koncipovány tak, aby prohloubily praktické znalosti studentů v oblasti operačních zesilovačů, každá úloha je zaměřená na určitý typ zapojení operačního zesilovače. V úlohách se využívá platforma NI ELVIS II, její integrované elektrotechnické nástroje a programy pracovního prostředí.

Každá úloha využívá určitý funkční celek platformy. Jsou voleny tak, aby byl využit široký rozsah uplatnění platformy a programového prostředí, které s celkem komunikuje. Kapitola 2.3 uvádí integrované nástroje sady NI ELVIS II. V úlohách se bude využívat velká škála těchto přístrojů.

Základní přístroje platformy, které budou značně využity se pro mnohá měření nemění. Jedná se především o funkční prvky napájení a tedy VPS, nebo zdroje pevného napětí +5 V a symetrické napětí  $\pm 15$  V pro napájení operačních obvodů. Pro samotné měření většiny hodnot se v měření využívá integrovaný multimetr platformy (DMM). Jednotlivé úlohy jsou řazeny tak, aby bylo využito co nejvíce prvků sady NI ELVIS II; prvků simulace v programu NI MultiSim a v neposlední řadě i programu NI LabVIEW.

Úloha 4.1.1 Invertující zesilovač – úvodní seznámení s prostředky firmy National Instruments na jednoduchém obvodu zapojení. Účelem bylo využít prvky platformy jako je regulovatelný zdroj napětí, multimetr a osciloskop zařízení; kdy je při zobrazování výstupního napětí inverze signálu zřetelná.

Úloha 4.1.2 Frekvenční charakteristiky filtrů – hlubší seznámení s prvky simulace programu NI MultiSim a pro využití analyzátoru signálu platformy. Filtrační obvody byly pro tyto fakty skvělým příkladem.

Úloha 4.2 Převodníku napětí na proud – pochopení funkce simulace a její odlišnosti od reálného obvodu. Obvod sestavený v programu, ačkoli se mnohdy vychází právě ze simulovaných hodnot, vykazoval značně rozdílné hodnoty od fyzického obvodu. Tento rozdíl je graficky vyobrazen.

Úloha 4.3 Detektor zatmění – měření se neomezuje jen na pasivní prvky rezistorů a kondenzátorů z přechozích příkladů. Kombinací pasivního prvku s PN přechodem a užitím vhodné aktivní součástky je do úloh zařazen komparační obvod.

Úloha 4.4 Měření teploty – ukázka spolupráce platformy a grafického programovacího programu NI LabVIEW. Tato úloha je z větší části provedena v grafickém prostředí, kdy je hlavním úkolem naprogramovat přepočítání hodnoty napětí na teplotu za pomoci hardwarového prostředí sady NI ELVIS II.

V úlohách jsou řešeny elektrická schémata pomocí simulačního a návrhového programu od firmy National Instruments – MultiSimu. Prvotní nastavení a základní poznatky ohledně zobrazení elektrotechnických značek nebo samotného pracovního prostředí jsou uvedeny v příloze (Příloha 3).

## **4.1 Invertující zesilovač a frekvenční charakteristiky filtrů**

Tato úloha slouží pro základní seznámení s platformou, její použití a použití programových nástrojů k samotnému měření. V této laboratorní úloze bude zapojen operační zesilovač jako invertující obvod a poté obvody jednotlivých filtrů s operačním zesilovačem. Měření bude rozděleno na několik podkapitol, kde bude za úkol využívat k měření nejprve simulaci a následně i prvky platformy.

Úloha je rozdělena na podkapitoly měření, a to měření invertujícího zesilovače a měření frekvenčních charakteristik filtrů.

### **4.1.1 Invertující zesilovač**

K tomuto měření se bude ve značné míře využívat program NI MultiSim, jak pro vymodelování obvodu, tak i pro následnou simulaci. Po fyzickém sestavení obvodu na přípravku NI ELVIS II budou k měření použity integrované prvky platformy.

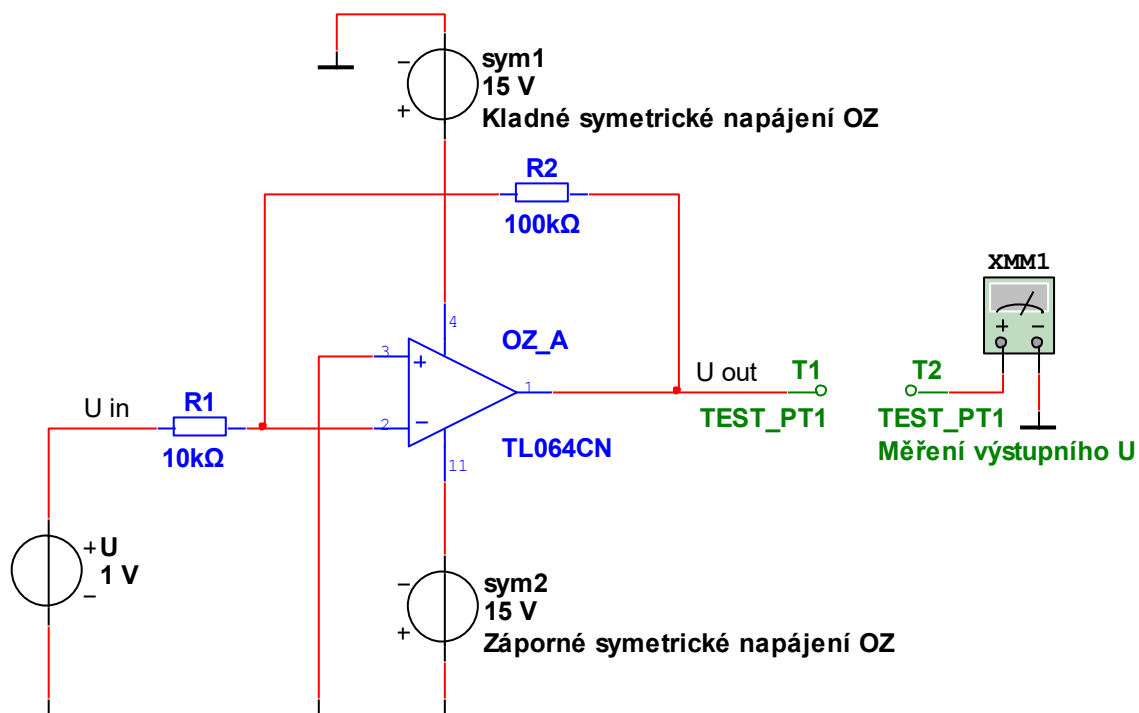
Úkolem bude vymodelovat obvod v programu NI MultiSim, popis podrobného prvotního nastavení programu a klávesové zkratky jsou uvedeny v příloze (Seznámení s návrhovým a simulačním programem NI MultiSim). Následuje simulace zapojení – proměření výstupního napětí pomocí virtuálního multimetru. Schéma 1 zobrazuje zapojení invertujícího zesilovače i s virtuálním prvkem digitálního multimetru, díky kterému je možné zobrazit výstupní napětí obvodu.

Pro další úkol měření bude potřeba fyzických součástek pro zapojení obvodu přímo na platformě. NI ELVIS II poskytuje symetrické napájení  $\pm 15\text{ V}$ , které se bude využívat k napájení operačního zesilovače. Jako řídicí prvek obvodu je použit obvod TL064, jde o operační zesilovač se čtyřmi obvody, které pracují nezávisle na sobě. V rámci měření se bude pracovat pouze s jedním z nich – kontrolní otázky k dané úloze (Příloha 5: Invertující zesilovač a filtry).

Tato část měření vyžaduje použití elektrotechnických nástrojů platformy. Využívat se bude především digitální multimetr s označením DMM, kterým se nejprve změří hodnoty rezistorů, aby nedošlo k záměně hodnoty zpětné vazby a k samotnému měření výstupního napětí. Hodnota výstupního napětí změřená pomocí programu a pomocí platformy bude zaznamenána do tabulky, následně i s vypočítanou absolutní a relativní chybou obou prvků.



Měření výstupního napětí předchází správné připojení vstupního prvku. Vzhledem ke skutečnosti, že pracujeme ve virtuálním prostředí, bude zdroj napětí prvek bez definovaného vnějšího pouzdra (Příloha 3).



*Schéma 1: Schéma invertujícího zesilovače pro simulaci výstupního napětí*

U fyzického sestavení obvodu na platformě se musí dbát na skutečnost, že výstupní napětí je měřeno proti zemi (tzn. 0 V). Toto zemnicí napětí se nesmí zaměnit za napětí, přiváděné na vstup 11 integrovaného obvodu (tzn. -15 V).

V posledním úkolu této části měření je zobrazení vstupního a výstupního napětí na osciloskopu platformy NI ELVIS II. Pro tuto úlohu je potřeba použít nový prvek platformy. Regulovatelný zdroj napětí (VPS) nahradí frekvenční generátor s označením FGEN. Úkolem bude nastavit osciloskop tak, aby byly oba signály zobrazeny nad sebou a byla tak patrná funkčnost zapojení – invertování vstupního signálu. Zobrazené průběhy budou součástí protokolu o měření.

## 4.1.2 Frekvenční charakteristiky filtrů

Tato část úlohy se zaměřuje na zobrazení jednotlivých frekvenčních charakteristik filtrů horní a dolní propusti a filtru pásmové propusti. Před samotným sestavením obvodů na platformě se však bude opět využívat počítačových simulací.

Úkolem bude namodelovat obvod. Pro obvody horní a dolní propusti, vypočítat kritické frekvence obvodů a následně je vyznačit do vykreslené amplitudové charakteristiky zapojení čehož bylo docíleno použitím virtuálního statického analyzátoru v prostředí NI MultiSim. Pro filtr pásmové propusti bude potřeba spočítat frekvenci, kterou tento filtr propouští a meze ve kterých pracuje ( $f_{m1}$ ,  $f_{m2}$ ). Tyto charakteristiky, společně jako výsledky frekvencí budou součástí protokolu o měření.

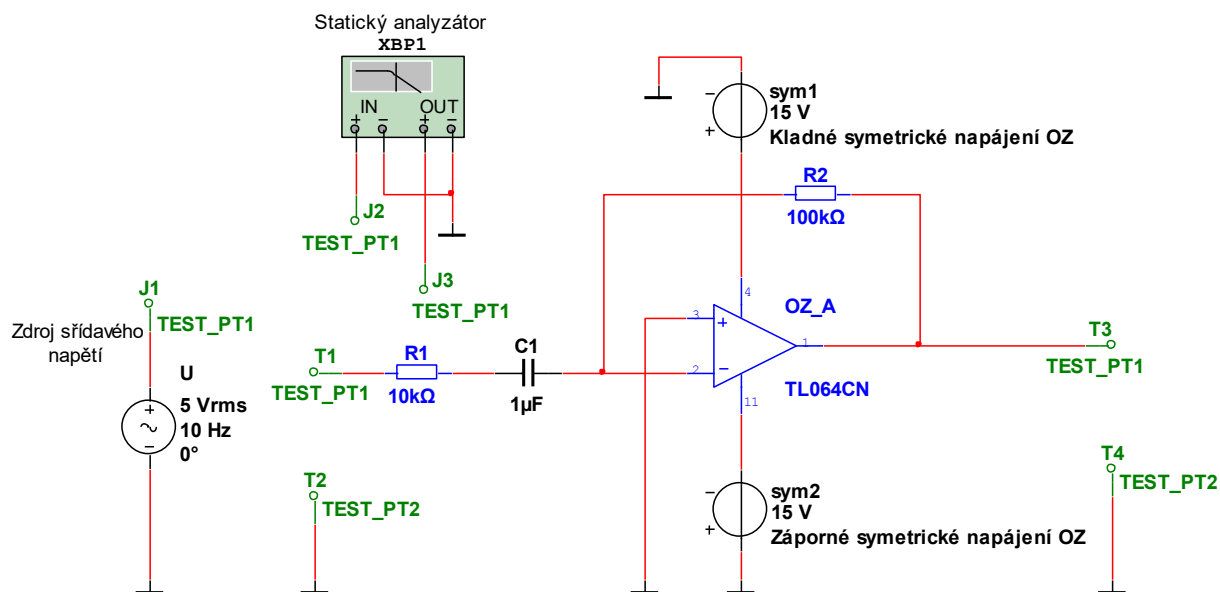


Schéma 2: Schéma filtru horní propusti pro měření frekvenčních závislostí

Schéma 2 zobrazuje namodelovaný obvod společně s virtuálními prvky statického analyzátoru a zdroje střídavého napětí, které jsou nezbytné pro měření frekvenčních charakteristik daného filtru. Střídavé napětí bude připojeno na vstup obvodu, společně se svorkou J2, výstupní signál obvodu bude snímán svorkou J3.

Následný úkol spočívá v sestavení filtrů na platformě, jejich proměření funkčním prvkem platformy – statickým analyzátozem s označením Bode Analyzer a vykreslením frekvenčních charakteristik. Jednotlivé hodnoty zesílení při určitých frekvencích budou značeny do tabulek. Popis chování filtru, v jaké frekvenční oblasti zesiluje, a naopak v které utlumuje bude zmíněno v závěru protokolu o měření.

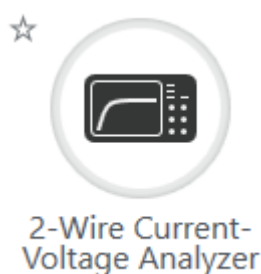
Posledním bonusovým úkolem je změření frekvenčních charakteristik zapojení invertujícího zesilovače z bodu zadání 4.1.1 a odečtení jednotlivých hodnot zesílení z vykresleného grafu. Graf i tabulka hodnot zesílení budou přiloženy v protokolu.

## 4.2 Převodník napětí na proud

Smyslem této úlohy je demonstrovat to, že díky změně vstupního napětí je možné regulovat průchod proudu zpětnou vazbou operačního zesilovače. K viditelnému zobrazení průchodu proudu jsou do zpětné vazby integrovaného obvodu řazeny LED diody.

Zapojení bude řešeno programově, pomocí simulace a následně i fyzicky na platformě. Úkolem bude u sériového a paralelního zapojení měřit proud procházející obvodem. Naměřené hodnoty budou zapisovány do tabulek. Součástí protokolu o měření bude vykreslený graf simulovaných i fyzických hodnot sériového a paralelního zapojení.

Rozdílné barevné provedení LED diod má různé hodnoty napětí, při kterém se otevírá PN přechod a diodou protéká proud. V této úloze bude použita zelená LED dioda, u které musí být změřena VA charakteristika. Pro vykreslení charakteristiky diody se bude využívat nástroj platformy s označením 2Wire neboli dvoupólový analyzátor. Po zadání parametrů, ve kterých se má simulace provést, program vykreslí proudovou závislost na napětí dané diody. Tato křivka bude součástí protokolu o měření.



*Obrázek 11: Zobrazení ikony Dvoupólového analyzátoru*

Dalšími integrovanými přístroji platformy používanými při měření budou digitální multimetr (DMM) a nastavitelný zdroj napětí (VPS).

### Voltampérová charakteristika diody

Základní informací o vlastnostech diody dává její voltampérová (VA) charakteristika. Je to závislost stejnosměrného proudu procházejícího diodou na stejnosměrném napětí, které působí mezi její anodou a katodou [11].

Promítnutím tečny do grafu VA charakteristiky diody, udává průnik s napětíovou osou hodnotu napětí, při kterém se přechod polovodičové součástky otevírá.

## Sériové zapojení obvodu

Diody ve zpětné vazbě operačního zesilovače jsou přemostěny spínači  $S1$  a  $S2$ , aby byla patrná změna průchozího proudu, jestliže některý z nich bude sepnut. Odpor  $R_1$  a  $R_2$  v zapojení slouží jako ochranné prvky.

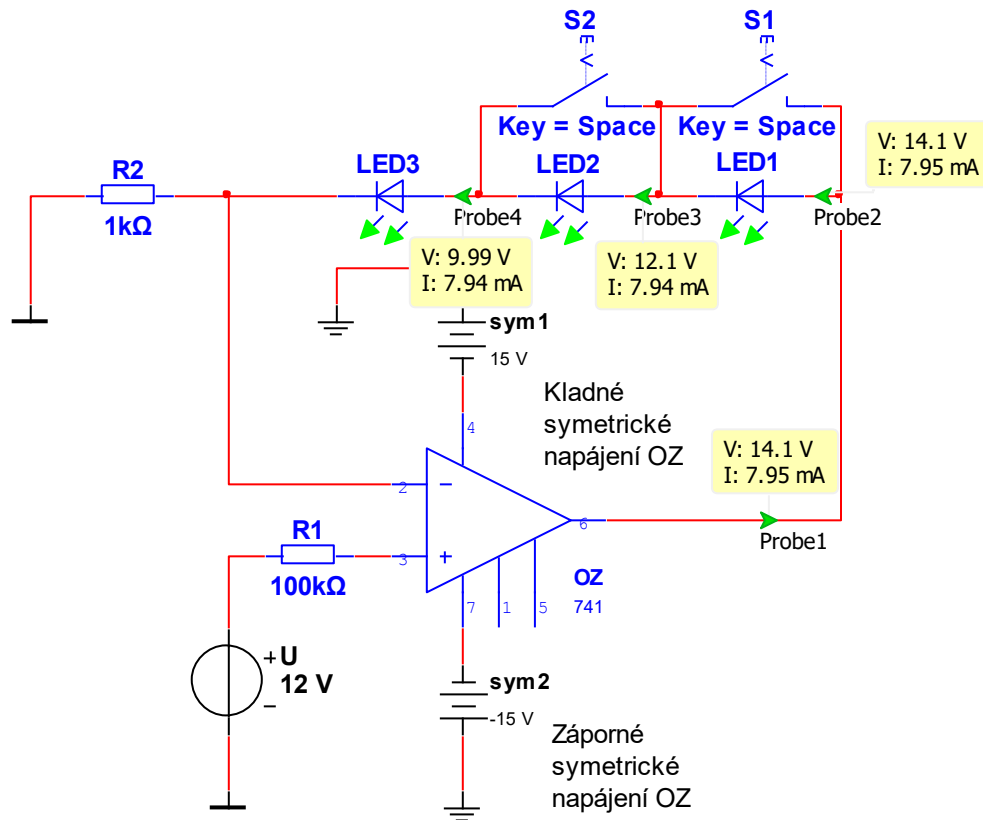


Schéma 3: Schéma zapojení převodníku napětí na proud – sériové zapojení

Schéma 3 zobrazuje sériové zapojení obvodu s měřicími sondami, kvůli úbytku napětí na diodách jsou hodnoty napětí rozdílné. Ze simulace plyne, že hodnota úbytku napětí přibližně odpovídá změřené hodnotě VA charakteristiky zelené LED diody.

Při rozepnutých obou spínačích  $S1$  a  $S2$  je ze schématu patrné, že větvi neprotéká žádný proud a všichni teče přes přechod diody. Stav při sepnutém spínači bude opět simulován.

Výstupem této části úkolu bude zobrazení grafu simulovaných i fyzicky naměřených hodnot proudu na každé LED diodě, při zvyšování vstupního napětí.

## Paralelní zapojení obvodu

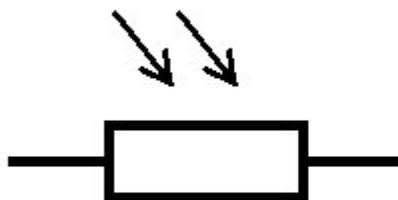
I v tomto zapojení jsou diody přemostěny spínači, nyní jsou však řazeny paralelně.

Podle základních předpokladů se proud v tomto zapojení při sepnutém spínači  $S1$  rozdělí mezi LED diody  $LED1$  a  $LED2$ , poslední diodou proud neprotéká – spínač  $S2$  je rozepnutý. Úkolem bude změřit proud protékající jednotlivými diodami při zvyšujícím se vstupním napětím, hodnoty zapsat do tabulky a následně vykreslit graf simulovaných i fyzických hodnot.

### 4.3 Detektor zatmění

Cílem úlohy je seznámení s prvkem, který mění svůj odpor v závislosti na míře osvětlení a s funkcí komparačního obvodu, prohloubit znalosti v oblasti virtuální simulace i teoretické počty obyčejných nezatížených napětových děličů.

Fotorezistor je součástka velmi citlivá na světlo, změna jeho odporu závisí na množství světla, které dopadá na jeho povrch. Když je vystaven tmě, má velice velký odpor – závisí na typu součástky – v laboratorní úloze bude mít hodnotu  $20\text{ k}\Omega$ . Naopak jestliže je vystaven přímému světelnému záření, jeho odpor se razantně zmenší – v laboratorní úloze bude jeho přibližná hodnota odpovídat  $3\text{ k}\Omega$ .



Obrázek 12: Schématická značka a ukázka fotorezistoru [10]

Tento prvek však NI MultiSim neobsahuje, program poskytuje možnost tvorby vlastních součástek a vlastních pouzder pro součástky, mnohdy se totiž stává, že právě dané pouzdro nevyhovuje návrhu. Tato skutečnost však na potřeby této práce nebude mít vliv.

Pro účel simulace postačí znát hodnoty odporů fotorezistoru při osvětleném a plně zatemněném stavu, díky tomu je možné do schématu zařadit obyčejný potenciometr, který bude postupně nastavován do obou zmíněných poloh odporu.

Odpor součástky se se zatemněním zvyšuje, podle technických hodnot i po praktickém změření hodnota odpovídala  $20\text{ k}\Omega$  (tma). Proto je volena i taková hodnota potenciometru s označením FOTO\_R. Ze schématu je patrné, že třetí vstup potenciometru není připojený, protože nahrazuje vlastní funkci fotorezistoru, jeho hodnota je měněna procentuálním poměrem, uvedeným vedle součástky (Schéma 4).

Jako řídicí prvek je použit obvod LM393, což je dvojitý komparátor. Oba integrované operační zesilovače na sobě pracují nezávisle. Pro účely měření bude využit pouze první komparační obvod, a tedy jen vstupy 1, 2, 3 a pro napájení obvodu 4 a 8. Druhý obvod zůstane nezapojený – kontrolní otázky k dané úloze (Příloha 7: Detektor zatmění).

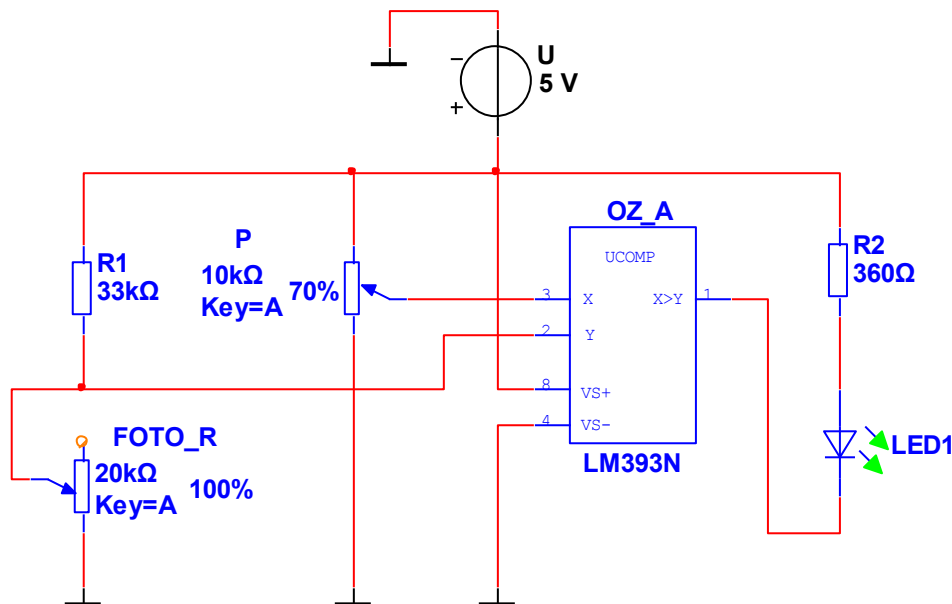


Schéma 4: Detektor zatmění (komparátor)

Ze schématu 4 je patrné, že i přestože se jedná o duálně řešený celek, je zobrazena pouze struktura OZ\_A. Zde se uplatnila „chytrost“ programu, kdy vytvoří oba prvky zvlášť a schéma zapojení je následně přehlednější, pokud by druhý prvek nebyl zapotřebí, čehož je v tomto případě využito.

Obvod porovnává napěťové úrovně z děliče napětí tvořeného rezistorem R1 a fotorezistorem a z děliče napětí tvořeného potenciometrem P. V případě, že je napětí na invertujícím vstupu (Y) vyšší, než napětí na vstupu neinvertujícím (X), výstup obvodu sepne. Jestliže je napětí na invertujícím vstupu nižší než na neinvertujícím, výstup zůstává nesepnutý a proud tak neprotéká obvodem.

Jestliže tedy bude fotorezistor vystaven jasnému světlu, bude na výstupu napěťového děliče napětí rovno řádově milivoltům. Pokud se tento odpor zvýší na hodnotu úměrné zatemnění stavu, hodnota napětí vzroste na jednotky voltů, díky čemuž obvod dosáhne překročení komparační úrovně.

Aby byla potvrzena funkčnost obvodu, na výstup komparátoru je připojena LED dioda, signalizující první z popsáných stavů, a tedy ten, kdy výstup sepne a proud prochází přes rezistor R2, přes LED diodu a přes integrovaný obvod do země. Rezistor R2 slouží v zapojení pouze jako ochranný.

Úkolem bude nejprve změřit hodnoty elektrického odporu fotorezistoru a následně teoretické vypočítání jednotlivých děličů napětí. Následuje sestavení obvodu v simulačním programu a simulace. Posledním bodem měření bude sestavit obvod na samotné platformě, přičemž bude nutné nastavit vhodnou hodnotu potenciometru P tak, aby obvod pracoval správně a určit napěťové úrovně na obou vstupech komparátoru. V závěru protokolu bude uvedeno, zda a případně jak se měnily hodnoty teoretické, simulované a praktické.

## 4.4 Měření teploty

Tato úloha seznamuje s programem NI LabVIEW a s prvkem, který mění svůj odpor v závislosti na změně teploty – s termistorem. Pro samotné zpracování snímaných dat se bude využívat upraveného vzorce pro výpočet teploty z poměru elektrického odporu dokumentace součástky.

Pro tento účel bude využito grafické programové prostředí NI LabVIEW. Cílem je vytvořit funkční přepočtení teploty z poměrové hodnoty odporu termistoru. V měření bude použit NTC termistor s hodnotou odporu  $R_T = 10 \text{ k}\Omega$ . Pro tuto řadu termistorů – s negativním teplotním koeficientem platí, že při zahřátí součástky klesá elektrický odpor. Pro tyto účely slouží standardizované technické charakteristiky prvků s odlišnostmi podle právě použité součástky. Zvolený termistor podle dokumentace výrobce odpovídá charakteristice s číselným označením 2904 [14].

Ve výše uvedených dokumentech jsou vztahy, potřebné k dosažení hodnot elektrického odporu termistoru při teplotě  $T$  ( $R_T$ ) – této hodnoty je docíleno následným dopočtem změřených hodnot napětí na termistoru. Výchozí výpočet hodnoty odporu  $R_T$ , podle vztahu: [15]

$$R_T = R_{TX} \times e^{\left[ \frac{\alpha_X}{100} \times (T_X + 273,15)^2 \times \left( \frac{1}{T + 273,15} - \frac{1}{T_X + 273,15} \right) \right]} \quad (1)$$

Kde  $R_{TX}$  je výchozí hodnota odporu termistoru. Volí se výchozí hodnota  $R_{TX} = 10\,000 \Omega$ , což odpovídá hodnotě teploty ve stupních Celsia při teplotě  $25^\circ\text{C}$  ( $T_X$ ). Alfa představuje teplotní součinitel elektrického odporu – v tomto případě bude neměnná, stejně jako předchozí dvě hodnoty ( $\alpha_{25} = 4,7 \text{ K}^{-1}$ ). Koeficient  $T$  označuje hodnotu teploty zájmu (po úpravě  $x$ ). Této hodnoty se pokoušíme dosáhnout, ostatní proměnné rovnice jsou známy.

Po úpravě vzorce byla získána rovnice (2), díky které bylo možné spočítat teplotu snímanou termistorem. Hodnota 273,15; která byla uvedena již v předchozím vzorci, odpovídá hodnotě teploty v Kelvinech. V měření však bude našim cílem zobrazovat teplotu ve stupních Celsia, proto se musí konstanta odečíst.

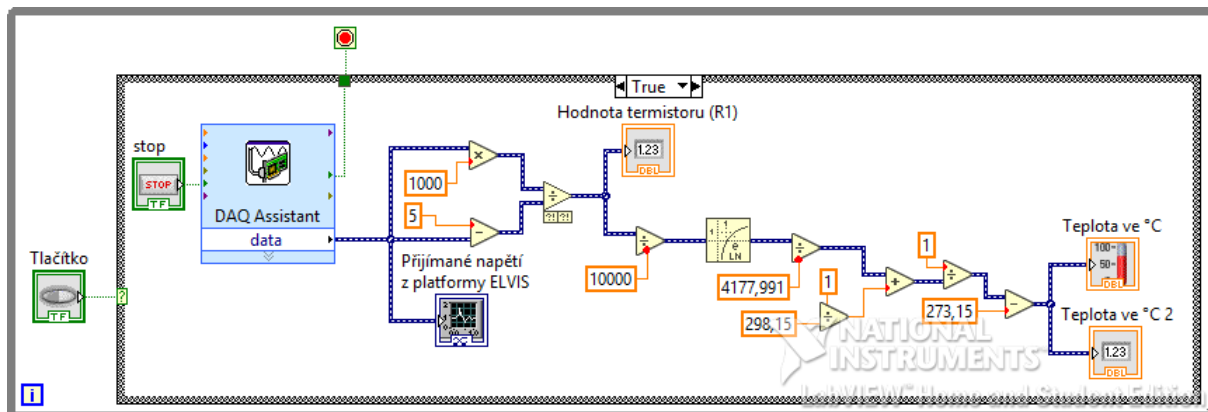
$$x = \frac{1}{\left( \frac{\ln\left(\frac{R_T}{R_{25}}\right)}{\frac{\alpha}{100} \times (T_X + 273,15)^2} + \frac{1}{T_X + 273,15} \right)} - 273,15 \quad (2)$$

Jelikož jsou koeficienty  $R_{TX}$ ,  $T_X$  a  $\alpha$  neměnné, může se vztah zjednodušit a celkovou teplotu přepočíst podle rovnice (3).

$$x = \frac{1}{\left( \frac{\ln\left(\frac{R_T}{R_{25}}\right)}{4177,991} + \frac{1}{298,15} \right)} - 273,15 \quad (3)$$

Poměr elektrických odporů uvedený ve vztahu odpovídá poměru hodnot, uvedených v jednotlivých charakteristikách termistorů [14]. Snaha co nejvíce zjednodušit vzorec povede k jednoduššímu zápisu programu v prostředí NI LabVIEW.

Příloha 4: Seznámení s programem NI LabVIEW odkazuje na správnou konfiguraci virtuálního prvku DAQ Assistant, který bude potřeba ke sběru dat přímo z platformy. Měřený prvek bude napětí z děliče sestaveného z termistoru ( $R_1$ ) a rezistoru ( $R_2 = 1\,000\,\Omega$ ). Toto napětí je potřeba převést na hodnotu elektrického odporu. Pomocí vzorce pro dělič napětí se vyjádří hodnota  $R_1$ .



Obrázek 13: Vzorec pro převod napětí na teplotu (NI LabVIEW)

Obrázek 13 zobrazuje vzorec pro převod hodnot elektrického napětí nejprve na hodnotu elektrického odporu – Hodnota termistoru ( $R_1$ ) – a následně je poměr odporů převeden na teplotu podle vztahu (3). Výsledná teplota je zobrazena ve  $^{\circ}\text{C}$  díky poslednímu bloku, odečítající od hodnoty konstantu 273,15; což je hodnota Kelvinu rovna  $0\,^{\circ}\text{C}$ . Konstanty uvedené u jednotlivých funkčních bloků jsou výsledkem úpravy rovnice (1).

V programovém prostředí jsou patrně kromě jednotlivých funkčních prvků také dvě smyčky. Obě pracují nezávisle na sobě, přičemž je uživatelem ovládaná jen smyčka *Case Structure* a to prvkem sady boolean – *Tlačítkem*. Druhá smyčka *While Loop* slouží k zacyklení programu. Příkazy uvedené ve struktuře se budou neustále opakovat, dokud nebude vydán příkaz k zastavení smyčky – tlačítko *STOP*. Oba tyto prvky, společně se zmiňovaným DAQ Assistantem a základními matematickými operacemi a funkcemi programu jsou uvedeny v příloze (Příloha 4).

Ohřev termistoru bude uskutečňován keramickým rezistorem. Tento obvod bude pracovat nezávisle na měřicím obvodu. V měření je potřeba docílit mechanického spojení obou součástí tak, aby byl přenos tepla efektivní a nedošlo k rozpojení. Pro tento účel byla mezi rezistor a termistor nanesena teplo-vodivá pasta a celý přípravek zalit do bezbarvé pryskyřice – technického Dentacrylu. Tím bylo docíleno tepelné a elektrické izolace, pevnosti spojení a čirého povrchu, poskytující náhled na součástku.

Úkolem v této úloze bude převážně práce s programem NI LabVIEW a technickou dokumentací součástky. Měření spočívá v prostudování technických parametrů a určení hodnoty odporu pro minimální a maximální hodnotu teploty – zde se uvádí rozsah hodnot  $15$  až  $90\,^{\circ}\text{C}$  a pro tyto hodnoty teoretické spočítání hodnoty napětí na výstupu. Toto je nezbytné pro určení parametrů DAQ Assistantu. Dalším teoretickým úkolem bude odvodit vzorec  $R_1$  a následná implementace vzorců do grafické podoby v prostředí NI LabVIEW. Následuje změření teplotních charakteristik termistoru ve stupních Celsia. Bonusovým úkolem bude upravit program tak, aby měřil teplotu po přepnutí tlačítka i v Kelvinech (struktura *Case*).



## 5 Závěr

Hlavním cílem praktické části této práce bylo vytvořit sérii laboratorních úloh pro elektrotechnické měření na prototypovém přípravku NI ELVIS II. Celkem 5 úloh má za účel studenty hlouběji seznámit s problematikou operačních zesilovačů, a to za pomoci modulární výukové platformy. Ke sběru dat a samotného měření byla použita jen platforma NI ELVIS II. Ostatní elektrotechnické přístroje nebyly potřeba, to zabezpečuje integrita soustavy jako technické laboratoře.

Jelikož se jedná o „Soubor laboratorních úloh I“, jsou úlohy voleny jednoduché a slouží pro základní poznání a porozumění prvků firmy National Instruments jako je platforma NI ELVIS II a programové prostředí NI MultiSim a NI LabVIEW, nedílnou součástí je i grafické rozhraní platformy ELVISmx.

Laboratorní úlohy jsou koncipovány jako celek základních zapojení s operačními zesilovači, kdy každé zapojení nabádá – ať už funkčností obvodu, nebo kontrolními otázkami – k prostudování technické dokumentace daného prvku a zjištění podrobností o zapojení. Pro tuto skutečnost jsou zvoleny operační zesilovače, které korespondují se závěrečnými otázkami měření. Tyto otázky jsou voleny tak, aby studenti po absolvování měření a po prostudování kapitol v úvodním listu měření byli schopni odpovědět.

Pracovní prostředí, které je využíváno spočívá v jednoduchosti a intuitivním provedení programů. Uživatel je schopný ať už v programu NI MultiSim, nebo NI LabVIEW nasimulovat, nebo naprogramovat svůj vlastní obvod a program i bez složité instruktáže. Pro základní seznámení s danými programy jsem vyhotovil jednoduché přílohy (Seznámení s návrhovým a simulačním programem NI MultiSim a Seznámení s programem NI LabVIEW). Grafy jednotlivých úloh jsou vykreslovány pomocí programu MATLAB.

Použitím prvků NI v celé práci byla zajištěna kompatibilita jednotlivých pracovních softwarů s hardwarovým prostředím platformy.

V práci byla ve značné míře zastoupena virtuální simulace, pomocí návrhového a simulačního programu NI MultiSim. Po osvojení základních principů a klávesových zkratk programu je možné navrhnout prakticky jakýkoli obvod díky obrovskému výběru z knihoven aktualizovaných součástek. Integrované virtuální přístroje programu umožňují pracovat se softwarem mnohem efektivněji a využít tak potenciál virtuální simulace.

Virtuálního prostředí je v práci využíváno i v programu NI LabVIEW, kdy je pomocí programu realizována hlavní část jedné z úloh a díky tomu je možné přepočíst elektrickou veličinu na zdánlivě spolu nesouvisející teplotu. Hlavním a klíčovým prvkem NI je sběr dat přímo z platformy, čehož v práci využívám.

Pro další vývoj v oblasti laboratorních úloh pro užití na přípravcích od firmy National Instruments by bylo vhodné měřit číslicový signál a použít osmibitovou digitální směrnicí (kterou platforma poskytuje) pro zápis dat.

## 6 Zdroje

### Literatura

- [1] VENTURA, John, Robert DRAKE a Joan MCGRORY. *NI ELVIS Has Entered the Lab* [online]. 2005, 670–679 [cit. 2016-12-29]. DOI: 10.1109/SECON.2005.1423323. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/1423323/>
- [2] What is NI ELVIS? *NI* [online]. USA, 2013 [cit. 2016-12-29]. Dostupné z: <http://www.ni.com/white-paper/8599/en/>
- [3] POKORNÁ, Iva. Označování ochranných známek. In: *EducationOnline* [online]. 2011 [cit. 2017-01-06]. Dostupné z: <http://www.educationonline.cz/clanky/top-clanky/160-ochranne-znamky-a-jejich-oznacovani>
- [4] NI Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite II Series (NI ELVISTM II Series) User Manual. *NI* [online]. USA, 2011 [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: <http://www.ni.com/pdf/manuals/374629c.pdf>
- [5] TAWFIK, Mohamed, Elio San CRISTÓBAL a Alberto PESQUERA. *Putting fundamentals of electronic circuits practices online* [online]. 2012 [cit. 2016-12-29]. DOI: 10.1109/TAE.2012.6235419. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6235419/>
- [6] Integrated Suite of 12 Instruments for Hands-On, Multidiscipline Education NI ELVIS II/II+. *NI* [online]. USA, 2014 [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: <http://www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-394>
- [7] What Is NI Multisim? *NI* [online]. [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: <http://www.ni.com/multisim/what-is/>
- [8] What Is LabVIEW? *NI* [online]. [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: <http://www.ni.com/labview/>
- [9] Začínáme s LabVIEW. VLACH, Jaroslav, Josef HAVLÍČEK, Martin VLACH a Viktorie VLACHOVÁ. *Začínáme s LabVIEW*. Praha: BEN – technická literatura, 2008, s. 18. ISBN 978-80-7300-245-9.
- [10] Úřad pro technickou normalizaci: Grafické značky používané na schématech a výkresech v elektrotechnice podle databáze IEC 60617DB. *UNMZ* [online]. 2011 [cit. 2017-02-03]. Dostupné z: <http://www.unmz.cz/files/normalizace/Informace%20o%20vybran%C3%BDch%20norm%C3%A1ch/Grafick%C3%A9%20zna%C4%8Dky%20na%20schematech.pdf>
- [11] Voltampérová charakteristika diody. MAŤÁTKO, Jan. *Elektronika*. 5. vyd., V Idea servis 3., rozš. vyd.). Praha: Idea servis, 2002, s. 90. ISBN 80-85970-42-2.
- [12] Technické parametry: zelená LED dioda. *Sparkfun* [online]. [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LED/COM-09592-YSL-R531K3D-D2.pdf>
- [13] Zdroje proudu s operačními zesilovači. KREJČÍŘÍK, Alexandr. *Zdroje proudu*. Praha: BEN – technická literatura, 1999, s. 43–44. ISBN 80-86056-84-8.
- [14] NTC thermistors for temperature measurement. *EPCOS* [online]. 2009 [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.118-010.1.pdf>
- [15] Standardized R / T Characteristics. *EPCOS* [online]. [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: [https://www.nikhef.nl/pub/experiments/bfys/lhcb/outerTracker/Electronics/CTRL-Box/NTC-100k/PDF\\_Standardized.pdf](https://www.nikhef.nl/pub/experiments/bfys/lhcb/outerTracker/Electronics/CTRL-Box/NTC-100k/PDF_Standardized.pdf)
- [16] Invertující zapojení operačního zesilovače. PUNČOCHÁŘ, Josef. *Operační zesilovače v elektronice*. 4. dopl. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 1999, s. 24–26. ISBN 80-86056-37-6.

- [17] Invertující zesilovač. DIEDRICH, Kurt. *Elektronika tajemství zbavená: objevovat, experimentovat porozumět*. Ostrava: HEL, 2004, s. 25. ISBN 80-86167-24-0.
- [18] Filtry. DIEDRICH, Kurt. *Elektronika tajemství zbavená: objevovat, experimentovat porozumět*. Ostrava: HEL, 2004, s. 93. ISBN 80-86167-24-0.

## Obrázky

- [1] What is NI ELVIS? *NI* [online]. USA, 2013 [cit. 2016-12-29]. Dostupné z: <http://www.ni.com/white-paper/8599/en/>
- [2] NI ELVIS for Analog, Digital, and Power Circuits Education. *NI* [online]. USA [cit. 2017-01-04].  
Dostupné z: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/cs/nid/205426#overview>  
a  
NI ELVIS for Digital Electronics. *NI* [online]. USA [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/cs/nid/207010#>
- [3] Quanser QNET Mechatronic Actuators Add-On Board. *NI* [online]. USA [cit. 2017-01-04].  
Dostupné z: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/cs/nid/213136>  
a  
Quanser QNET Mechatronics Sensors Add-On Board. *NI* [online]. USA [cit. 2017-01-04].  
Dostupné z: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/cs/nid/210348>
- [4] Emona FOTEx Add-on Board. *NI* [online]. USA [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/cs/nid/210108#overview>  
a  
Emona DATEX Add-on Board. *NI* [online]. USA [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/cs/nid/205429#overview>
- [5] Emona HELEX Add-on Board. *NI* [online]. USA [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/cs/nid/208701#overview>
- [6] NI ELVIS II Plug-In Board Module Development Kit. *NI* [online]. USA, 2015 [cit. 2017-01-04].  
Dostupné z: <http://www.ni.com/product-documentation/8433/en/>
- [7] LM741: DIP8. *GME* [online]. [cit. 2017-02-03]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/lm741-dip8-texas-instruments>
- [8] LM741 Operational Amplifier. *TI* [online]. [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm741.pdf>
- [9] *Python Integration Toolkit for LabVIEW* [online]. [cit. 2017-03-04]. Dostupné z: <https://www.enthought.com/products/python-for-labview/>
- [10] Fotorezistor. *Jolashop* [online]. [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: <http://www.jolashop.ro/diverse/412-jete043.html>

## 7 Přílohy

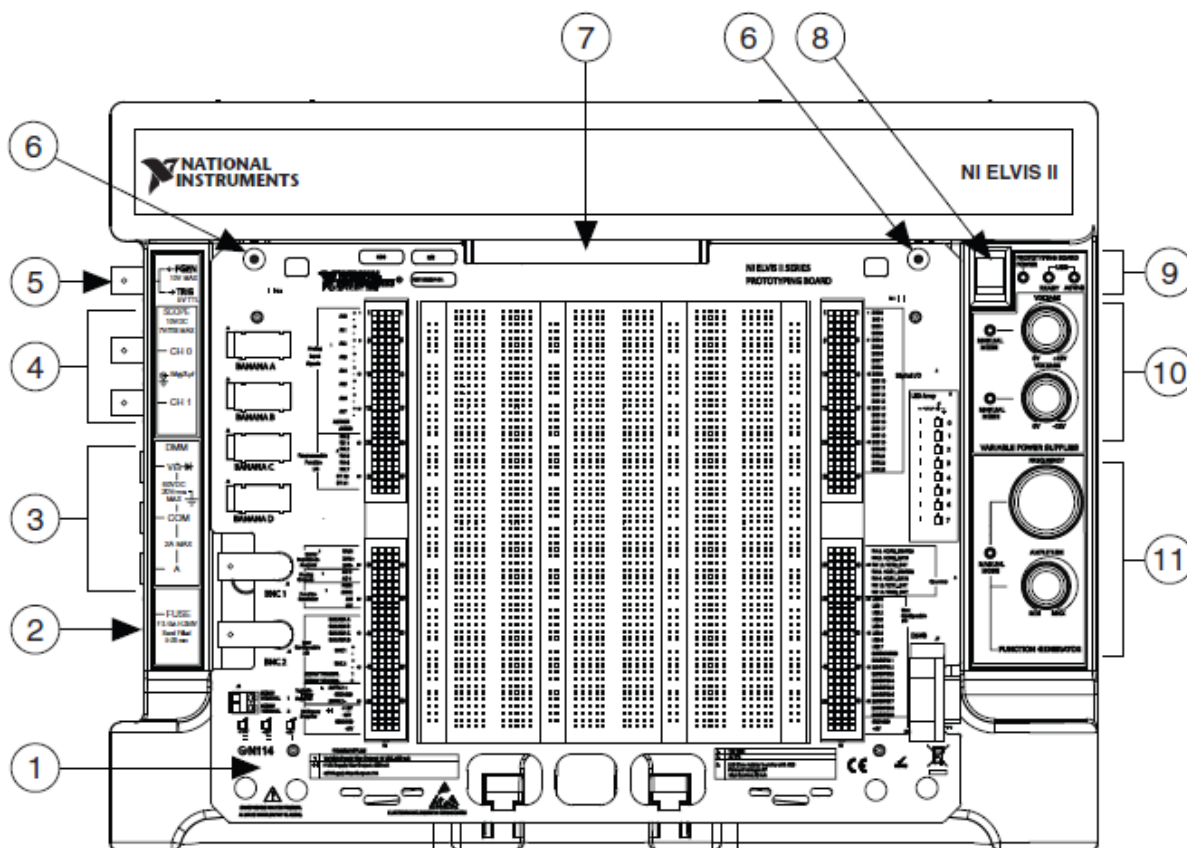
Vzhledem k povaze bakalářské práce jsou do této rozsáhlé kapitoly uvedeny jednotlivě zpracované laboratorní úlohy i s obecným úvodem do problematiky. Přílohy 1–4 uvádějí čtenáře do obecné problematiky daného tématu. Přílohy 5–8 zahrnují jednotlivá zadání laboratorních úloh, společně se vzorovým vypracováním protokolu o měření.

Laboratorní úlohy jsou přiloženy na CD, v provedení samostatného zadání úlohy a vzorově vypracovaného protokolu o měření. Na disku jsou rovněž uvedeny instalační soubory pro ovladače ELVISmx, DAQmx a všechna schémata a programy použita v práci.

### Seznam příloh

Příloha 1: Podrobný popis prvků platformy NI ELVIS II.....	I
Příloha 2: Seznámení s nepájivým kontaktním polem platformy NI ELVIS II .....	III
Příloha 3: Seznámení s návrhovým a simulačním programem NI MultiSim.....	IV
Příloha 4: Seznámení s programem NI LabVIEW .....	VIII
Příloha 5: Invertující zesilovač a filtry.....	XI
Příloha 6: Převodník napětí na proud.....	XXXII
Příloha 7: Detektor zatmění.....	XLIII
Příloha 8: Měření teploty.....	LI

## Příloha 1: Podrobný popis prvků platformy NI ELVIS II

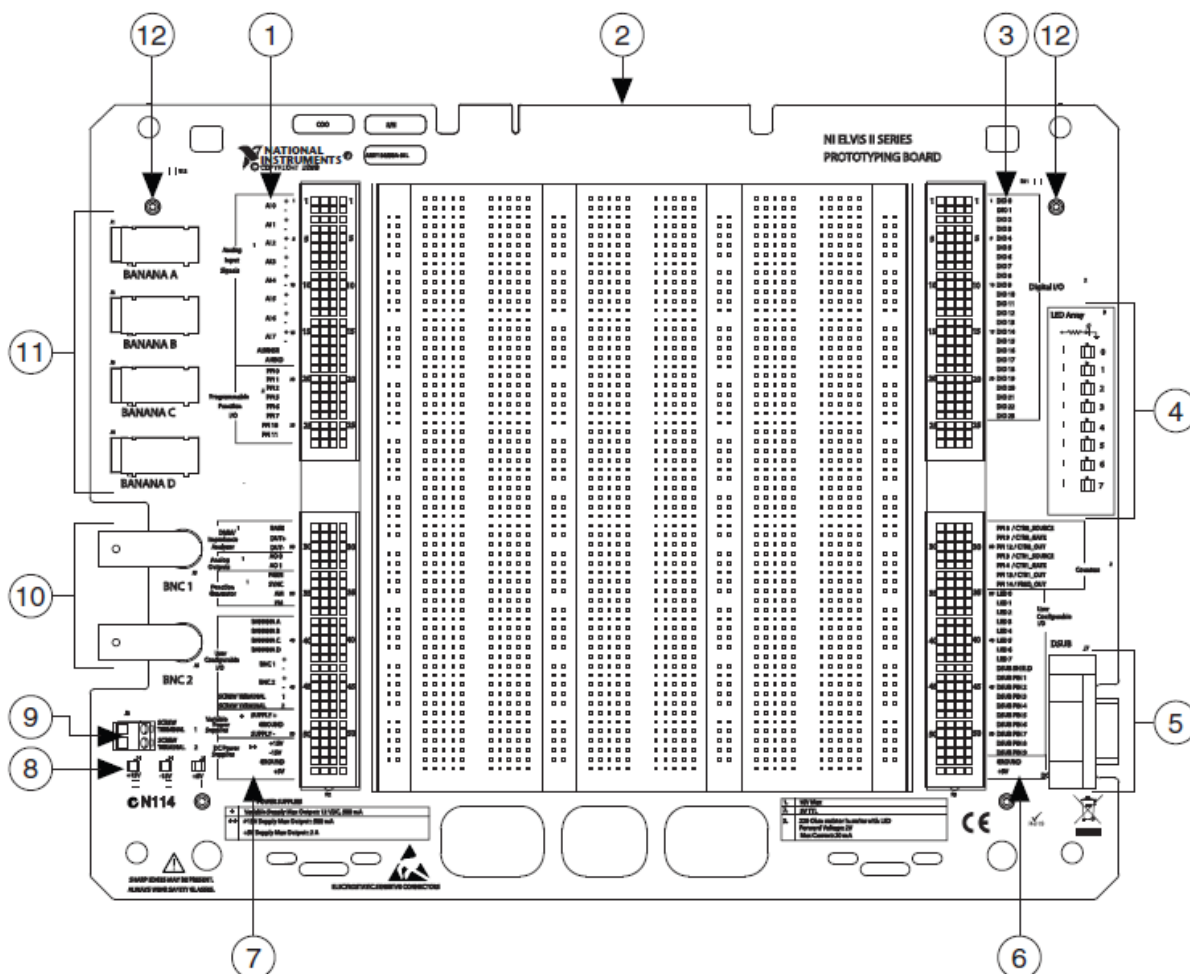


Obrázek 14: Podrobný popis pracovních prvků platformy [4]

1. NI ELVIS II PROTOTYPING BOARD
2. Pojistka digitálního multimetru platformy
3. Konektory určené pro digitální multimetr platformy
4. Konektory určené pro osciloskop
5. Konektor určený pro výstup funkčního generátoru platformy
6. Šroubovací otvory pro pevné připevnění platformy
7. Konektor plug-in board
8. Spínač, přivádějící napětí na PROTOTYPING BOARD
9. Indikátory LED
10. Manuální ovládání regulovatelného zdroje napětí platformy
11. Manuální ovládání funkčního generátoru platformy

Obrázek 14 popisuje podrobný popis všech prvků platformy, v práci se budou hojně využívat pouze některé z nich. Manuální ovládání regulovatelného zdroje napětí a funkčního generátoru je pro účely laboratorních úloh nepotřebné – tyto prvky budou ovládány programově.

## Podrobný popis NI ELVIS II PROTOTYPING BOARD



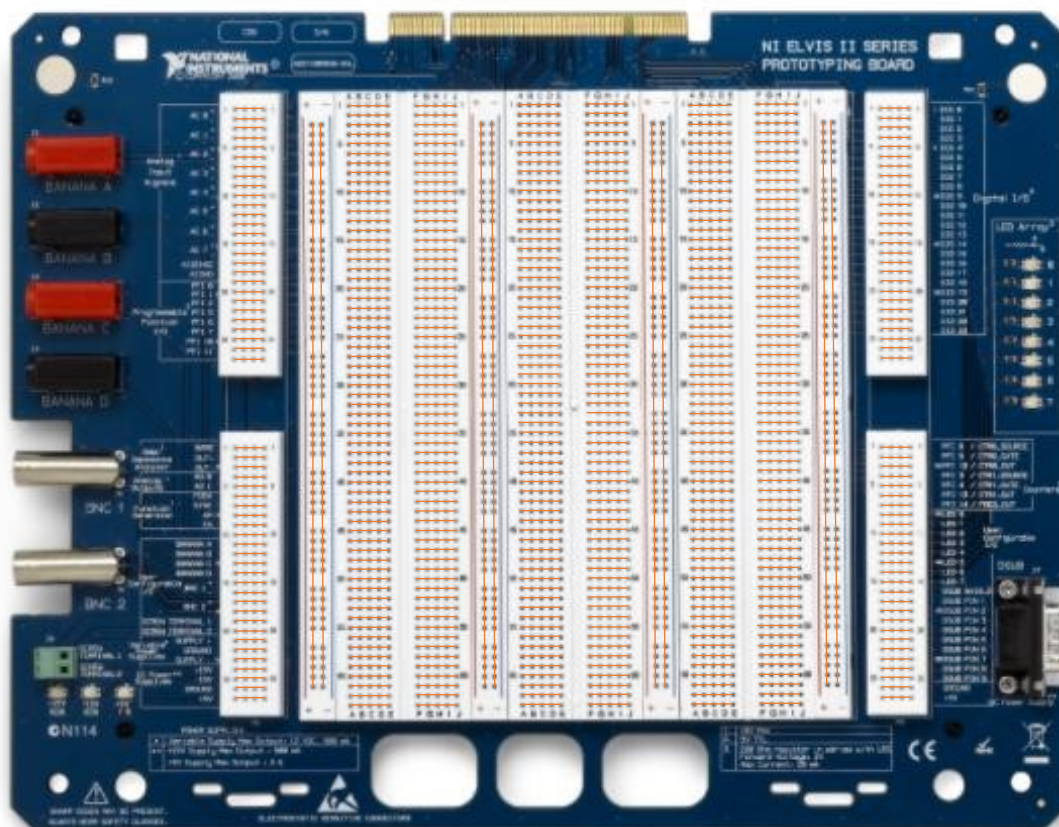
Obrázek 15: Podrobný popis NI ELVIS II PROTOTYPING BOARD [4]

1. Analogové vstupy
2. Konektor samotného pracovního rozhraní
3. Digitální vstupy a výstupy
4. Signalizace LED konfigurovatelná uživatelem
5. D-sub konektor<sup>2</sup> konfigurovatelný uživatelem
6. Čítač/časovač s uživatelsky nastavitelnými vstupy/výstupy
7. Funkční generátor, analogové výstupy, uživatelsky konfigurovatelný vstup a výstup, variabilní napájecí zdroje a zdroje stejnosměrného signálu
8. Indikátory stejnosměrného napájení
9. Šroubovací svorky konfigurovatelné uživatelem
10. BNC konektory<sup>3</sup> konfigurovatelné uživatelem
11. Banánkové konektory konfigurovatelné uživatelem
12. Šroubovací pozice pro upevnění panelu

<sup>2</sup> Celé označení D-subminiature, sloužící k přenosu elektrických signálů mezi zařízeními.

<sup>3</sup> Anglicky *Bayonet Neill Connector* slouží pro vysokofrekvenční spojení prvků, přenos obrazu.

## Příloha 2: Seznámení s nepájivým kontaktním polem platformy NI ELVIS II



Obrázek 16: Zobrazení vodivého spojení PROTOTYPING BOARD [6]

Obrázek 16 zobrazuje vodivé spojení jednotlivých pinů bezkontaktního pracovního pole platformy NI ELVIS II. Pracovní kontakty – nejmenší bloky celého celku jsou umístěné v jednotlivých rozích pracovního pole – jsou řazeny horizontálně. Samotná pracovní plocha je tvořena kombinací horizontálních a vertikálních kontaktů.



Obrázek 17: Detail nepájivého pole platformy

U každého řádku funkčních kontaktů je popis daných pinů, obrázek 17 zobrazuje vyvedení kladného napětí a GND nastavitelného zdroje napětí na pracovní plochu.

V levém dolním rohu pracovní desky jsou tři LED diody, signalizující funkčnost jednotlivých zdrojů platformy, jestliže svítí – zdroje jsou funkční.



## Příloha 3: Seznámení s návrhovým a simulačním programem NI MultiSim

NI MultiSim poskytuje velké množství simulačních prvků a nespočet součástek, díky kterým je možné v programu vytvořit takřka jakýkoli obvod. Jelikož je NI MultiSim výtvořem amerických vývojářů, je potřeba si po prvním spuštění uvědomit několik věcí.

Americká norma pro značení elektrotechnických součástek se liší oproti evropskému označování. Česká republika vychází z technické normy grafických značek používaných na schématech a výkresech v elektrotechnice podle databáze IEC 60617DB [10].

### Postup změny elektrotechnické normy v programu MultiSim:

Options → Global Preferences → záložka Parts → hodnota DIN



Obrázek 18: Detail výběru zobrazení elektrotechnické pro zobrazení v programu MultiSim

Ve vývojovém prostředí programu se objevuje několik barevných kombinací zobrazujících se součástek, kdy každá má určitý význam. Při výchozím nastavení pracovní plochy (Obrázek 19: Nastavení vlastností pracovního pole v programu MultiSim) se součástka může zobrazit modře, černě, nebo zeleně.

Modré označení zobrazuje součástku, která má určité pouzdro (Footprint) v němž je uložena. Černě označené prvky jsou naopak ve schématu bez pouzdra, jedná se především o zdroje napětí, generátory signálu, nulové napětí (GND) atd.; součástka může být ovšem také označena černě pokud u ní není zvoleno pouzdro. Dalším a posledním – zeleným zobrazením – se vyskytují prvky, jež se aktivně nepodílí na virtuální simulaci, jedná se například o testovací piny s označením *TEST\_PT* atd.

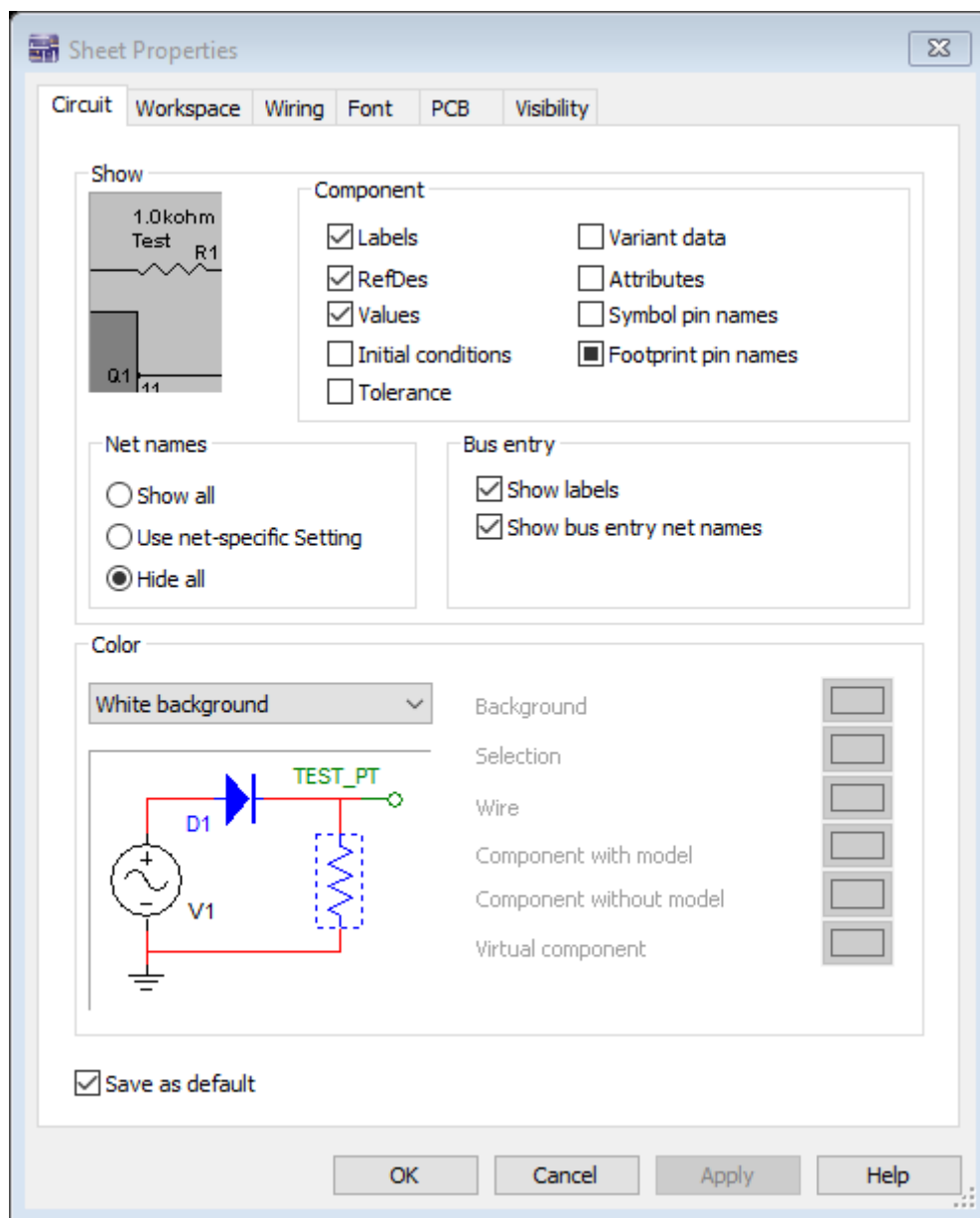
Tyto funkce grafických prvků využívá návrhový program NI Ultiboard, se kterým NI MultiSim úzce spolupracuje. Pro účely virtuální simulace však nebude mít barevnost prvků vliv, ačkoli se budou vyskytovat různě barevně označené.



Pro lepší přehlednost elektrotechnických schémat doporučuji ponechat bílé pozadí pracovní plochy a skrýt pomocné číslování jednotlivých vodičů, zato číslování výstupu integračních obvodů je potřeba zobrazit v každém schématu.

### Postup změny číslování jednotlivých prvků v programu MultiSim:

Edit → Properties → záložka Circuit → hodnoty nastavte podle následujícího obrázku

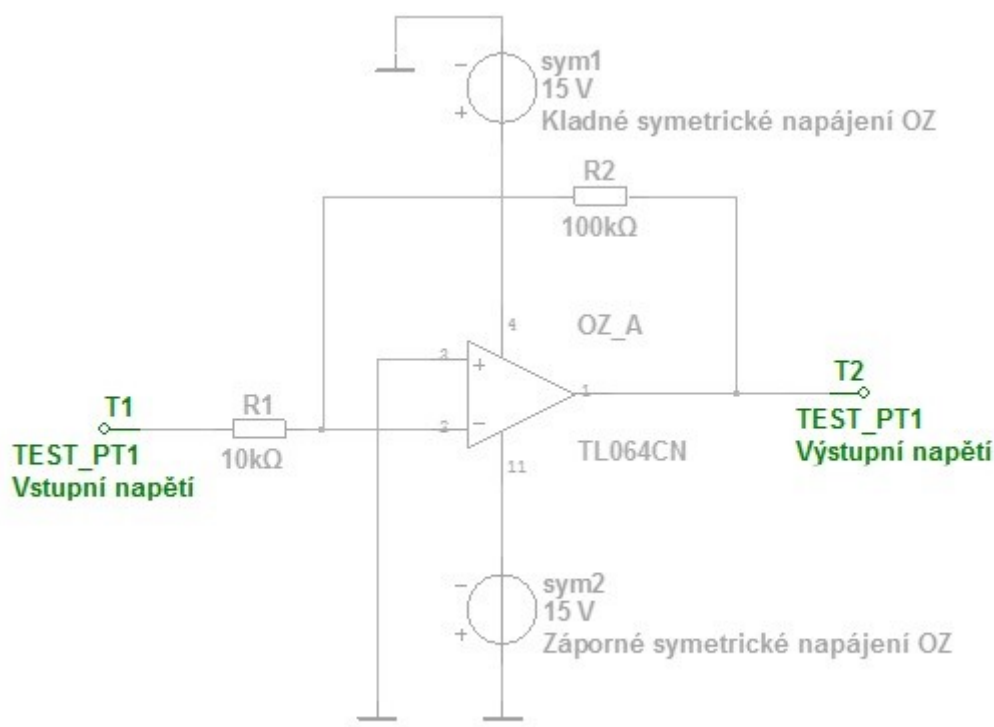


Obrázek 19: Nastavení vlastností pracovního pole v programu MultiSim

*Poznámka: Pro efektivitu práce program umožňuje klávesové zkratky (ctrl+w → přidání nové součástky; ctrl+r → otočení součástky; ctrl+t → přidání textového pole; ctrl+j → přidání uzlu do schématu; ctrl+a → vybrání všech prvků na pracovní ploše).*

## Test Pointy

V práci jsou uvedeny v mnoha schématech. Jde o vývody zapojení, které pro účely zapojení nemají funkční význam. Ve schématech jsou uváděny pouze za účelem popsání jednotlivých pinů a vývodů zapojení a slouží jen jako doplňující prvek zapojení. Určují tak celistvost celého schématu. Funkční význam tato součástka dostává pouze v případě, je-li vymodelované schéma zapojení přetransformováno do dalšího programu National Instruments – Ultiboardu, sloužící pro návrh desek plošných spojů.

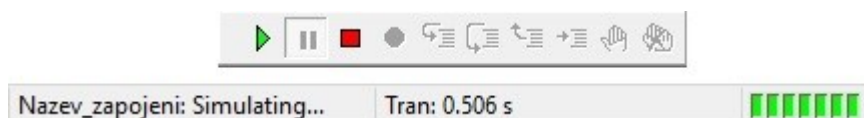


Obrázek 20: Zobrazení testovacích vývodů zapojení ve schématu

Obrázek 20 zobrazuje užití testovacích bodů ve schématu. Bývají zobrazeny zeleně, na rozdíl od funkčních prvků schématu. Tento objekt je uveden v databázi pod výrazem TEST a vybráním této položky se přidá součástka s označením „J“, v práci ponesou tyto prvky označení „T“, aby název přiblížil testovací funkčnost.

## Simulace

Simulace samotná je úzce spjata s celou prací. Simulace obvodu může mít vliv na volbu součástek, na hodnoty součástek i na budoucnost celého návrhu a schématu. Laboratorní úlohy jsou simulovány v prostředí NI MultiSim.



Obrázek 21: Prvky simulace

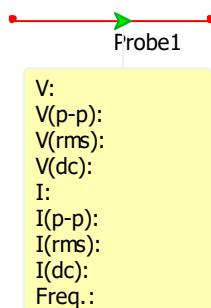
Simulační prostředí programu se skládá pouze z prvků, uvedených na obrázku 21. Kliknutím na zelenou šipečku započne simulace, v důsledku čehož se spustí simulační odpočet v pravém dolním rohu programového prostředí. Jsou určité prvky, které je možné při simulaci ovládat – takovými jsou například tlačítka, se kterými se může manipulovat i při simulování obvodu. Naopak jsou zavedeny i určitá simulační pravidla, například to, že hodnota komponenty změněná při procesu se změní až při opětovném spuštění simulace.

Pro potřeby simulace je v programu k dispozici nemalé množství elektrotechnických zařízení, od digitálního multimetru po funkční generátor nebo osciloskop. Tyto prvky jsou umístěné v pravé liště virtuálního prostředí.

### Měřicí sondy

Pro efektivitu měření jsou v programu zařazeny měřicí sondy, které plní v oblasti napětí a proudu stejnou funkci jako multimetr – měří elektrické veličiny vzhledem k zemi.

Měřicí sonda je uvedena ve spodní části přístrojové lišty programu NI MultiSim pod označením Measurement Probe. Je potřeba si uvědomit, že tyto sondy slouží k rychlému změření veličin, a to nejen napětí a proudu, ačkoli to pro účely této práce stačí.



Obrázek 22: Ukázka zařazení měřicí sondy

Obrázek 22 zobrazuje rozsah všech měřených veličin, pokud sondu poprvé zařadíme do obvodu. Také je opět patrný původ programu, a tedy veškeré hodnoty jsou popsány anglickými zkratkami.

#### Postup změny měřících parametrů sondy:

Dvojklikem myši – vlastnosti sondy → Parameters

V záložce parametrů sondy se nastavují jednotlivé veličiny, které chceme, aby sonda měřila. Ve většině případů měřených úloh to bude napětí (V) a proud (I) – nastavujeme změnou kolonky Show na Yes.

Po zavedení sondy do obvodu se automaticky určí její směr, kterým se natočí. Toto otočení sondy má vliv i na měřené hodnoty – pokud bude natočena proti směru proudu, bude měřit záporné hodnoty proudu. Musíme mít ale na paměti, že případné záporné hodnoty mohou být i v souladu se zapojením.

#### Postup změny natočení sondy:

Klik na sondu pravým tlačítkem myši → Reverse Probe Direction

## Příloha 4: Seznámení s programem NI LabVIEW

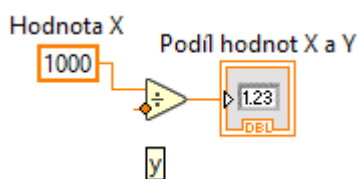
NI LabVIEW poskytuje grafické programovací prostředí, které je díky své koncepci, jednoduchých komponent a přehlednému prostředí velice intuitivní. V této příloze bude popsáno zejména základní zapojení komponent, prvek shromažďování dat – DAQ Assistant a struktury While Loop a Case.

Pro nový projekt se volí *Create Project* a kolonka *Blank VI*. Po tomto výběru se uživateli zobrazí dvě okna s označením *Block Diagram* a *Front Panel*. Tyto pracovní okna mohou být označena jako programovací (*Block Diagram*) a uživatelské (*Front Panel*).

### Matematické operace

Jelikož bude konstrukce rovnic z velké části náplň této práce, je potřeba se seznámit se základními matematickými operacemi, které program poskytuje. Tyto funkce jsou uvedeny v okně *Block Diagram*, pod záložkou *Mathematics*.

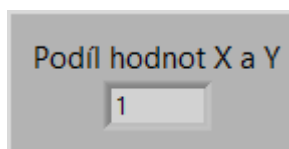
Po vložení bloku s funkcí se zobrazí jednotlivé vstupy a výstupy, na které je možno připojit prvek. Dostupnost těchto „svorek“ je znázorněna jednoduchou cívkou, která se objeví místo ukazatele myši po přejetí kteréhokoli vstupu nebo výstupu.



Obrázek 23: Matematická operace v programu LabVIEW – Block Diagram

Pravým tlačítkem myši je možné si zobrazit aktuální nabídku pro kterýkoli vstup nebo výstup obvodu a zvolit ať už *Create Constant* – pro vstupní hodnoty; nebo *Create Indicator* – pro výstupní hodnoty obvodu. Toto účelné využití zkratk slouží pro efektivnější práci s programem.

Výstupní prvek – v našem případě podíl hodnot X a Y bude pak zobrazen v uživatelském prostředí. Pokud volíme pro vstup Y konstantu s hodnotou 1000, na výstupu bude po spuštění programu hodnota 1.



Obrázek 24: Matematická operace v programu LabVIEW – Front Panel

Na vstupy i výstupy lze připojit více prvků současně a docílit tím například numerické i grafické indikace výstupní hodnoty. Stejný princip efektivity práce platí téměř pro každou měřicí nebo matematickou strukturu.

Pro další měření bude cílem vytvořit program, který bude načítat data přímo z platformy a dále je zpracovávat. K tomuto účelu bude využit prvek s označením DAQ Assistant.

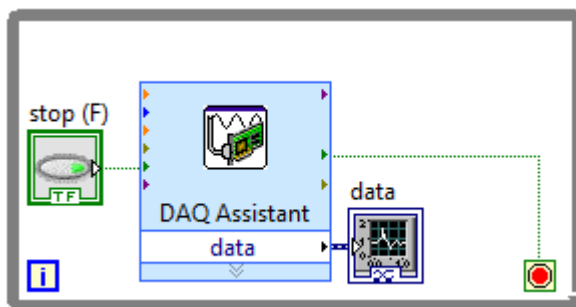
## DAQ Assistant

V okně Block Diagramu je možné pravým kliknutím rozbalit nabídku programovacích prvků, zobrazit pokročilé možnosti kolonky *Measurement I/O*, tady zvolit nainstalovaný ovladač počítače *NI DAQmx* a políčko s označením *DAQ Assist*.

Po vložení prvku do Diagramového pole se zobrazí okno *Create New*, kde jsou volitelné možnosti pro nově zvolený prvek. Pro účel měření je potřeba snímat napětí termistoru a převádět jej na teplotní hodnotu. Jako vstupní hodnotu je tedy voleno napětí – *Acquire Signals* → *Analog Input* → *Voltage*. Jakmile je zvolen měřený prvek, je potřeba vybrat jednotlivé analogové vstupy, na kterých se bude hodnota napětí snímat. Pro účely měření se volí vstupy s označením *ai0*.

Po stisknutí klávesy *Finish* následuje nastavení konfigurace virtuálního prvku. V nastavení vstupního rozsahu hodnot je potřeba volit **minimální hodnotu 2** a **maximální hodnotu 5**. Získávání dat bude nepřetržité (*Continuous Samples*). Následuje potvrzení nastavení tlačítkem *OK*. Následné vyskakující okno upozorňuje uživatele na skutečnost, že byl zvolen nepřetržitý sběr dat a zda opravdu souhlasí se zacyklením virtuálního prvku, pro účely měření je potřeba zvolit položku *Ano*.

Nyní je vytvořený virtuální prvek, díky kterému bude možné snímat na daných zvolených vstupech hodnoty elektrického napětí.



Obrázek 25: Vytvoření virtuálního prvku *DAQ Assistant*

*Poznámka: Mimo samotný prvek vidíme na obrázku další virtuální nástroje (Obrázek 25), které se zobrazily i v okně Front Panelu, jelikož jsme zvolili kontinuální sběr dat, všechny prvky se „zacyklily“ – šedý rámeček okolo zobrazuje smyčku, díky které bude měření probíhat v reálném čase, dokud uživatel nestiskne tlačítko stop. Výslednou hodnotou, kterou pro ukázkou zobrazujeme v grafu je elektrický odpor. Pravým klikem na datový výstup prvku zobrazíme tabulku možností a volíme *Create a Graph Indicator*. Nyní by se mělo Vaše virtuální prostředí shodovat s obrázkem 25. Pokud chceme s měřenou hodnotou dále pracovat, což v našem případě ano, pak musíme všechny prvky umisťovat do smyčky.*

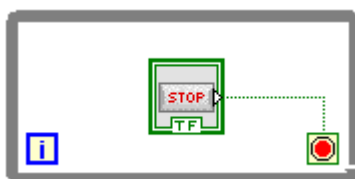
Pro začátek snímání dat z platformy je potřeba kliknout na bílou šipku s označením *Run* ve kterémkoli z pracovních oken programu NI LabVIEW.

## Struktury

Strukturami se v programu NI LabVIEW nazývají části programu, které se nějakým způsobem oddělují od ostatních celků. Pro účely měření bude zejména použita Struktura *While Loop* a *Case Structure*.

### Struktura While Loop

Tato struktura byla blíže zmíněna už v přidání prvku DAQ Assistantu do programu. Díky této struktuře program vykonává to, co je uvedeno uvnitř smyčky, dokud není uživatelem stisknuté tlačítko pro zastavení programu.

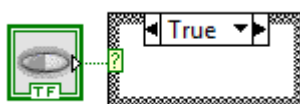


Obrázek 26: Prvek While Loop – Block Diagram

Stejnou smyčku, díky zvolenému kontinuálnímu měření, si vytvořil program sám v předchozím případě sběru dat z platformy. Struktura je doplněna navíc o tlačítko, kterým je možné celý proces zastavit (Obrázek 26). Tento prvek je ve *Front Panelu* zobrazen stejně jako v programovacím diagramu – šedé tlačítko s popiskem STOP.

### Struktura Case

Princip, na kterém pracuje struktura Case je velice jednoduchý. A jelikož jde o grafické programovací prostředí, použití tohoto prvku je velice intuitivní. Prvek je uveden pod ikonou struktur, jakmile je přenesena na pracovní plochu obsahuje dva stavy (True a False) neboli stav „pravdy“ a „nepravdy“. Lze tedy prohlásit, že tato struktura může ovládat dva programové celky, které na sobě nejsou závislé. Jako ovládací prvek této struktury je využito tlačítko.



Obrázek 27: Příklad struktury Case

Obrázek 27 zobrazuje strukturu Case ovládanou tlačítkem. Po spuštění programu se vykoná to, co je právě uvnitř struktury. Šipečkami v horní části si přepínáme hodnoty prvku, a tedy můžeme zadat rozdílné části kódu. Mezi jednotlivými stavy celku je možné přepínat tlačítkem.

## Příloha 5: Invertující zesilovač a filtry

### Cíl úlohy

Prostřednictvím této laboratorní úlohy se naučíte a zopakujete si:

- Pracovat s návrhovým a simulačním programem NI MultiSim.
- Pracovat se základními prvky platformy NI ELVIS II.
- Práci a vyhledávání dat z katalogových listů součástky.
- Funkci invertujícího zesilovače a frekvenčních závislostí filtrů.

### Invertující zesilovač

#### Zadání

1. Seznamte se s programem NI MultiSim.
2. V softwaru MultiSim namodelujte obvod invertujícího zesilovače.
3. Teoreticky vypočítejte, jak zesílené bude napětí na výstupu obvodu.
4. V softwaru MultiSim simulujte a změřte výstupní napětí obvodu.
5. Seznamte se s funkcí nepájivého pole platformy.
6. Pomocí digitálního multimetru platformy změřte hodnoty rezistorů  $R_1$  a  $R_2$ .
7. Namodelujte obvod na desce nepájivého pole platformy NI ELVIS II.
8. Pomocí digitálního multimetru platformy změřte výstupní napětí zesilovače.
9. Pomocí osciloskopu platformy zobrazte vstupní a výstupní napětí.

#### Předpokládané znalosti

Pro tuto úlohu se vyžaduje nastudování:

- Kapitola 4.1 Invertující zesilovač a filtry  
HANÁČEK, Michal. *Soubor laboratorních úloh I pro modulární výukovou platformu NI ELVIS*. Ostrava, 2017. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Vladimír Kašík, Ph.D.

Zaměřte svoji pozornost na:

- Příloha 1: Podrobný popis prvků platformy NI ELVIS II
- Příloha 2: Seznámení s nepájivým kontaktním polem platformy NI ELVIS II
- Příloha 3: Seznámení s návrhovým a simulačním programem NI MultiSim

#### Použité vybavení a součástky

- Pracovní stanice NI ELVIS II
- Počítač se softwary NI ELVISmx Instrument Launcher a NI MultiSim
- TL064;  $R_1 = 10\text{ k}\Omega$ ;  $R_2 = 100\text{ k}\Omega$

## Teoretický rozbor

Invertující zapojení patří k základním zapojením operačního zesilovače. Kladný vstup integrovaného obvodu je připojen na zemní svorku. V obvodu zavádíme zápornou zpětnou vazbu, která je tvořena přes rezistor  $R_2$ . Pro ideální operační zesilovač je zesílení nekonečné, a proto je napětí mezi invertujícím a neinvertujícím vstupem OZ nulové pro každé výstupní napětí. [16]

Celý proud prochází rezistorem  $R_2$ , protože od záporného vstupu ideálního operačního zesilovače žádný proud neteče. Zesílení je určeno pouze zpětnovazebními rezistory, ne vlastnostmi operačního zesilovače. Pro zesílení invertujícího operačního zesilovače platí vztah: [16]

$$A = \frac{U_{vys}}{U_{vst}} = -\frac{R_2}{R_1} [-]$$

Napětí na výstupu OZ je záporné vůči napětí na invertujícím vstupu – to vytváří proud, který teče přes zpětnovazební odpor na invertující vstup. Na invertujícím vstupu se tedy setkávají dva proudy s opačnými znaménky. Druhý proud je ten, který teče přes předřadný odpor a je buzen napětím připojeným na vstup zapojení. [17]

V místě, kde se oba proudy setkávají, tj. na invertujícím vstupu, musí být napětí (a tím i proud) operačního zesilovače minimální. Oba proudy s opačnými znaménky se navzájem vyruší a OZ je proto nucen vyrábět výstupní proud rovnající se vstupnímu proudu zapojení. [17]

Čím větší je zpětnovazební odpor, tím vyšší musí být napětí na výstupu operačního zesilovače, aby na invertujícím vstupu vyrobilo stejný „kompenzační proud“. Výroba tohoto kompenzačního proudu díky záporné zpětné vazbě probíhá automaticky a proud tekoucí odporem je přímo úměrný budicímu napětí. [17]



## Pracovní postup

### Postup k bodu č.1 zadání:

- Příloha 3: Seznámení s návrhovým a simulačním programem NI MultiSim odkazuje na základní seznámení a vysvětlení některých prvků programu. Prostudujte si ji.

### Postup k bodu č.2 zadání:

- Schéma 5 zobrazuje obvod invertujícího zesilovače. Sestavte obvod.

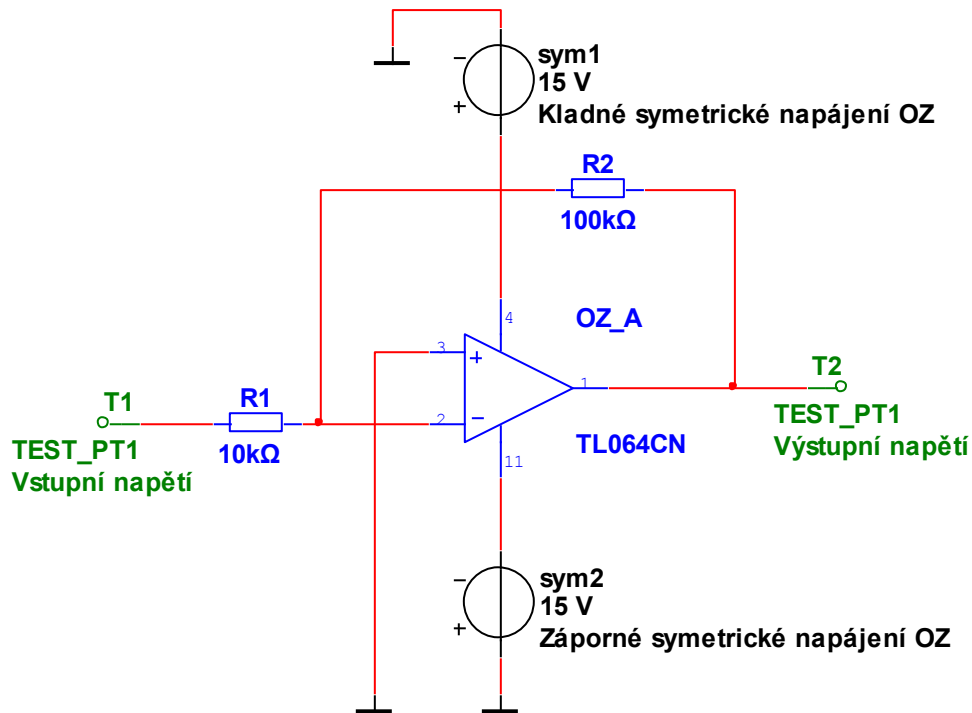


Schéma 5: Invertující zesilovač

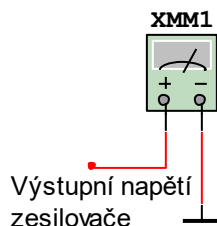
### Postup k bodu č.3 zadání:

- Vycházejte ze základního vzorce pro výpočet zesílení.

$$A = \frac{U_{vys}}{U_{vst}} = -\frac{R_2}{R_1} [-]$$

### Postup k bodu č.4 zadání:

- Na vstup zapojení připojte zdroj stejnosměrného napětí  $U = 1 \text{ V}$ .
- Na výstup zapojení připojte virtuální multimetr prostředí NI MultiSim.



Obrázek 28: Detail připojení multimetru

*Poznámka: Napájecí zdroje najdeme v knihovně součástek pod záložkou Sources → POWER SOURCES a vkládáme DC POWER. V první liště pracovní plochy jsou uvedeny jednotlivé přístroje virtuální simulace. Vybíráme první položku a tedy Multimetr.*

- Tabulka 1 zobrazuje hodnoty výstupních napětí invertujícího zesilovače. Zapište hodnoty.

### Postup k bodu č.5 zadání:

- Příloha 2: Seznámení s nepájivým kontaktním polem platformy NI ELVIS II odkazuje na nepájivé pole platformy. Prostudujte si ji.

### Postup k bodu č.6 zadání:

- Spustíte program počítače NI ELVISmx Instrument Launcher.
- Vyberte položku digitálního multimetru (DMM).

*Poznámka: Budeme měřit hodnoty elektrického odporu, a tedy zvolíme ikonu ohmu ve vyskakovacím okně virtuálního prvku. Následně podle vizuálního návodu pod výběrem měřené veličiny zapojíme banánkové konektory s krokodýlkama.*

- Rezistory zapojte do nepájivého kontaktního pole a změřte hodnoty elektrického odporu.

### Postup k bodu č.7 zadání:

- Sestavte obvod na platformě NI ELVIS II.
- Po kontrole správnosti zapojení vyučujícím, přiveďte napětí na PROTOTYPING BOARD.

### Postup k bodu č.8 zadání:

- Spustíte program počítače NI ELVISmx Instrument Launcher.
- Na vstup zapojení přiveďte napětí  $U = 1\text{ V}$ , regulovatelného zdroje platformy (VPS).
- Vyberte položku digitálního multimetru (DMM).

*Poznámka: Budeme měřit hodnotu elektrického napětí, a tedy zvolíme ikonu stejnosměrného napětí ve vyskakovacím okně virtuálního prvku. Následně podle vizuálního návodu pod výběrem měřené veličiny zapojíme banánkové konektory s krokodýlkama.*

- Tabulka 1 zobrazuje hodnoty výstupních napětí invertujícího zesilovače. Zapište hodnoty.

## Postup k bodu č.9 zadání:

- Vstupní svorky zapojení připojte na FGEN a na analogový vstup označený jako AI 1, výstup zapojení připojte na analogový vstup označený jako AI 0.
- Spustíte program počítače NI ELVISmx Instrument Launcher.
- Vyberte položku funkčního generátoru (FGEN) a nastavte tyto parametry:  
Typ signálu: **Sinusový průběh**  
Amplituda (Amplitude): **0,2 V<sub>p-p</sub>**  
Frekvence (Frequency): **1000 Hz**  
DC Offset: **0,0 V**
- Vyberte položku osciloskopu (Scope) a nastavte tyto parametry:  
Citlivost pro kanál 0: **1 V/dílek**  
Citlivost pro kanál 1: **100 mV/dílek**  
Časová základna: **1 ms**  
Typ spouštění: **Na hranu signálu (Edge)**

*Poznámka: Hodnota Trigger je hodnota, při které se začne spouštět časová základna. Jinými slovy – kdy se začne vykreslovat signál na obrazovce osciloskopu. Naše nastavení zobrazení udává nástupnou hranu signálu.*

- Po kontrole správnosti zapojení vyučujícím, přiveďte napětí na PROTOTYPING BOARD.
- Spustíte generování signálu FGEN a osciloskop.
- Zaznamenané průběhy přiložte do protokolu o měření.

## Výsledky

*Tabulka 1: Hodnoty výstupního napětí invertujícího zesilovače*

	$U_{\text{vys}} [\text{V}]$	$\Delta_m [\text{V}]$	$\delta_m [\%]$
<b>MultiSim</b>			
<b>ELVIS</b>			

*Graf výstupního napětí souběžně se vstupním.*

## Kontrolní otázky

1. Prostudujte dokumentaci obvodu TL064 a uveďte, proč nejsou některé vývody připojeny.
2. Jakou funkci má v zapojení rezistor  $R_2$ ?
3. Odpovídá změřené zesílení Vámi vypočtené hodnotě?
4. Pracuje zapojení správně? Popište, jak by mělo pracovat.

## Frekvenční charakteristiky filtrů

V této části úlohy se zaměříme na měření jednotlivých frekvenčních charakteristik filtrů horní propusti, dolní propusti a filtru pásmové propusti. Opět nejprve provedeme virtuální simulaci v prostředí NI MultiSim a následně fyzickou realizaci.

### Zadání

1. V programu NI MultiSim vytvořte obvod filtru horní propusti (HP).
2. Vypočtěte kritickou frekvenci filtru horní propusti.
3. Pro daný filtr proveďte simulaci v prostředí MultiSim.
4. V programu NI MultiSim vytvořte obvod filtru dolní propusti (DP).
5. Vypočtěte kritickou frekvenci filtru dolní propusti.
6. Pro daný filtr proveďte simulaci v prostředí MultiSim.
7. V programu NI MultiSim vytvořte obvod filtru pásmové propusti (PP).
8. Vypočtěte propustnou frekvenci filtru pásmové propusti.
9. Pro daný filtr proveďte simulaci v prostředí MultiSim.
10. Ze simulace určete hodnoty mezních frekvencí  $f_{m1}$  a  $f_{m2}$ .
11. Vytvořte obvody jednotlivých filtrů na platformě.
12. Změřte frekvenční charakteristiky filtrů, hodnoty zesílení запиšte do tabulek.

### BONUS

Na platformě NI ELVIS II změřte pomocí funkce Bode Analyzer zesílení zapojení invertujícího zesilovače z prvního bodu zadání při jednotlivých frekvencích a запиšte je do tabulky. Jaká je hodnota zesílení filtru pro frekvenci 20 kHz? Doložte frekvenční charakteristiku. Jednou větou v závěru zdůvodněte, jak se zesilovač chová.

### Předpokládané znalosti

Pro tuto úlohu se vyžaduje nastudování:

- Kapitola 4.1 Invertující zesilovač a filtry  
HANÁČEK, Michal. *Soubor laboratorních úloh I pro modulární výukovou platformu NI ELVIS*. Ostrava, 2017. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Vladimír Kašík, Ph.D.

Zaměřte svoji pozornost na:

- Příloha 2: Seznámení s nepájivým kontaktním polem platformy NI ELVIS II
- Příloha 3: Seznámení s návrhovým a simulačním programem NI MultiSim

### Použité vybavení a součástky

- Pracovní stanice NI ELVIS II
- Počítač se softwaru NI ELVISmx Instrument Launcher a NI MultiSim
- TL064;  $R_1 = 10\text{ k}\Omega$ ;  $R_2 = 100\text{ k}\Omega$ ;  $C_1 = 1\text{ }\mu\text{F}$ ;  $C_2 = 10\text{ nF}$

## Teoretický rozbor

Elektronické filtry zachycují složky, skládající se z kmitů různých frekvencí. Určité kmity o kmitočtu daném volbou obvodových prvků mohou být filtry potlačeny, nebo – podle varianty zapojení – vybrány. Ideální filtr by měl charakter skokové změny zesílení při dosažení dané kritické frekvence. U reálných filtrů i s velkým technickým úsilím nedokážeme realizovat ideální filtr a naším cílem je se této charakteristice co nejvíce přiblížit. Skoková změna signálu se u reálného filtru mění v přímku o určitém sklonu. A právě sklon této přímky slouží ke klasifikaci jednotlivých typů filtrů bez ohledu na obvodové řešení použité k realizaci filtru. [18]

Filtry horní propusti, dolní propusti a pásmové propusti jsou dostatečnou výpovědí přesných přenosových vlastností obvodů. Filtr horní propusti dobře propouští všechny signály v kmitočtovém rozsahu vyšším, než je kritická frekvence obvodu, signály s frekvencí nižší razantně potlačí. Filtr dolní propusti funguje přesně naopak, a tedy propustí nízké frekvence – pod mezní frekvenci – a vyšší frekvence utlumí. Pásmová propust je kombinací předchozích filtrů. Propouští pouze určité frekvenční pásmo, které je dáno hodnotami součástek obvodu a ostatní frekvence utlumí. Praktické uplatnění těchto obvodů je především v měřicí technice nebo v audiotechnice.

## Pracovní postup

### Postup k bodu č.1 zadání:

- Spustíte program počítače NI MultiSim.
- Schéma 6 zobrazuje obvod filtru horní propusti. Sestavte obvod.

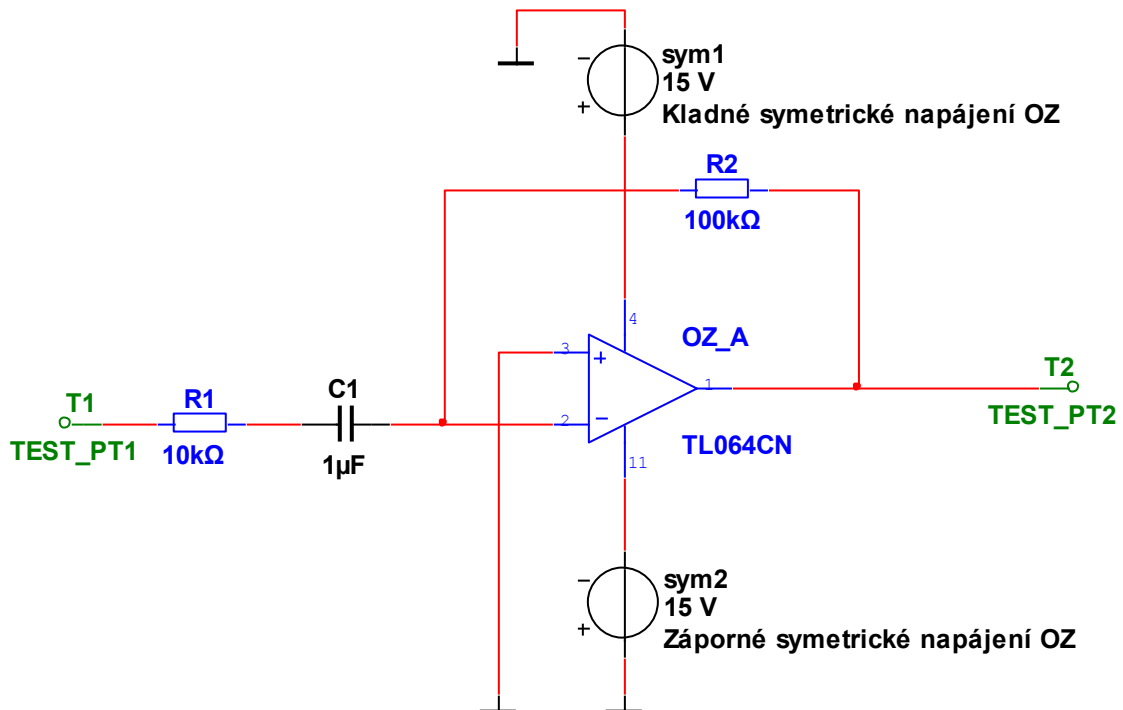


Schéma 6: Filtr horní propusti

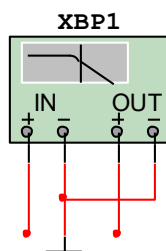
## Postup k bodu č.2 zadání:

- Vycházejte ze vzorce pro určení kritické frekvence filtračního obvodu.

$$f_m = \frac{1}{2\pi(RC)} = \frac{1}{2\pi(R_1C_1)} \text{ [Hz]}$$

## Postup k bodu č.3 zadání:

- Na vstup zapojení připojte zdroj střídavého napětí s parametry:  
Napětí: **5 V**  
Frekvence: **10 Hz**
- Do schématu zařaďte virtuální prvek programu MultiSim s označením Bode Plotter.



Obrázek 29: Detail připojení statického analyzátoru

- Svorku označenou IN připojte na vstup zapojení, svorku označenou OUT připojte na výstup zapojení.
- Proveďte simulaci obvodu – kurzor nastavte do polohy kritické frekvence.
- Výsledný graf simulace uveďte v protokolu o měření.
- Tabulka 2 zobrazuje hodnoty mezních frekvencí jednotlivých filtrů. Zapište hodnoty.

### Postup k bodu č.4 zadání:

- Schéma 7 zobrazuje filtr dolní propusti. Sestavte obvod.

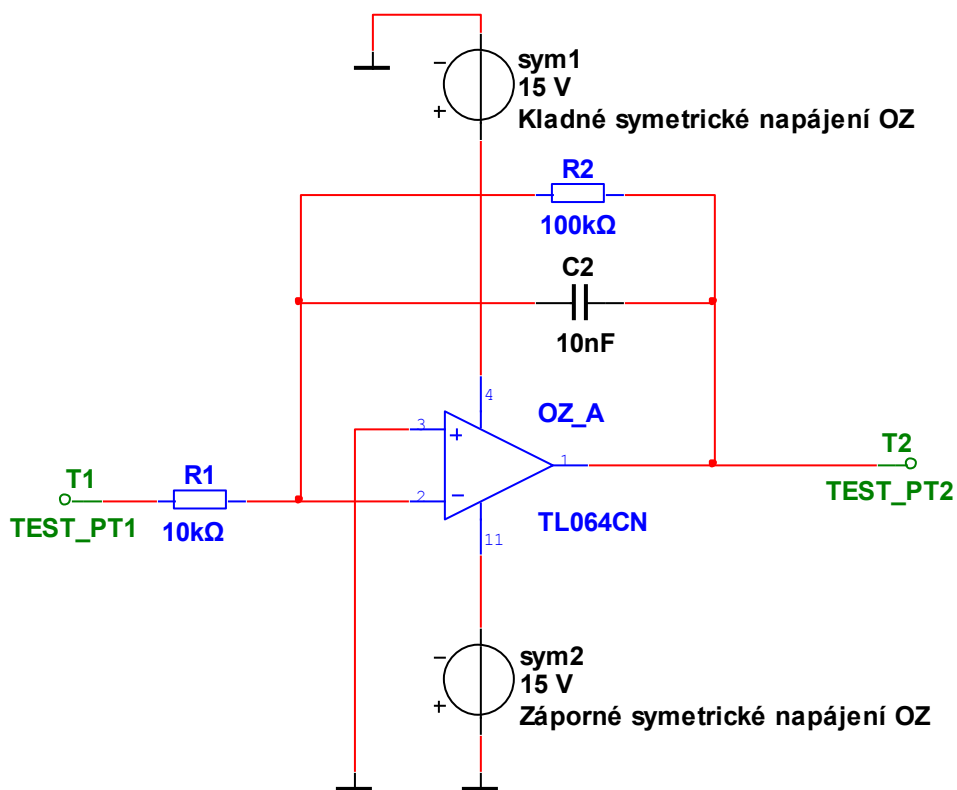


Schéma 7: Filtr dolní propusti

### Postup k bodu č.5 zadání:

- Vycházejte ze vzorce pro určení kritické frekvence filtračního obvodu.

$$f_m = \frac{1}{2\pi(RC)} = \frac{1}{2\pi(R_2C_2)} [Hz]$$

### Postup k bodu č.6 zadání:

- K simulaci obvodu použijte stejný postup, jako v bodu zadání číslo 3.
- Proved'te simulaci obvodu – kurzor nastavte do polohy kritické frekvence.
- Výsledný graf simulace uveďte v protokolu o měření.
- Tabulka 2 zobrazuje hodnoty mezních frekvencí jednotlivých filtrů. Zapište hodnoty.

### Postup k bodu č.7 zadání:

- Schéma 8 zobrazuje filtr pásmové propusti. Sestavte obvod.

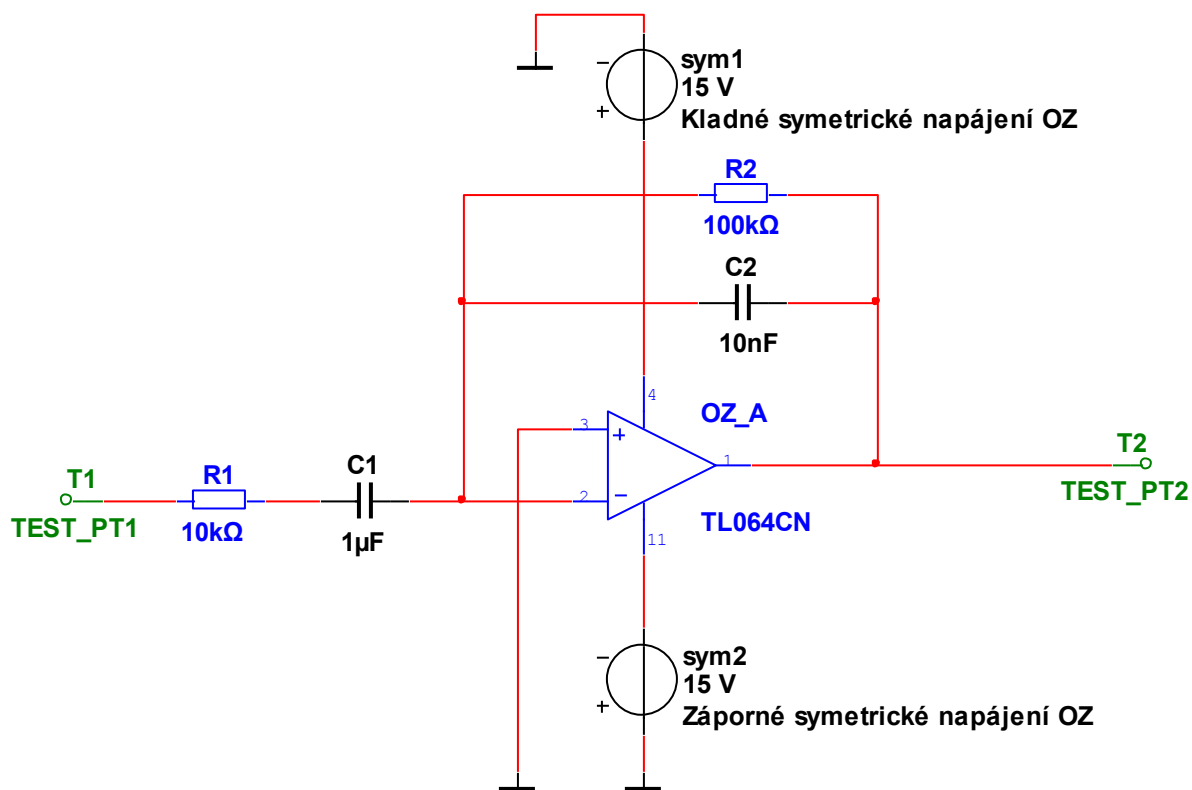


Schéma 8: Filtr pásmové propusti

### Postup k bodu č.8 zadání:

- Vycházejte ze vzorce pro určení propustné frekvence filtračního obvodu.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{(R_1 \times R_2 \times C_1 \times C_2)}} [Hz]$$



### Postup k bodu č.9 zadání:

- K simulaci obvodu užíjte stejný postup, jako v bodu zadání číslo 3 a 6.
- Proved'te simulaci obvodu – kurzor nastavte do polohy propustné frekvence.
- Výsledný graf simulace uveďte v protokolu o měření.
- Tabulka 2 zobrazuje hodnoty mezních frekvencí jednotlivých filtrů. Zapište hodnoty.

### Postup k bodu č.10 zadání:

- Vycházejte z poklesu hodnoty fáze o 3 dB:

$$\varphi_m = \varphi_{max} - 3 [dB]$$

- Tabulka 2 zobrazuje hodnoty mezních frekvencí jednotlivých filtrů. Zapište hodnoty.

### Postup k bodu č.11 zadání:

- Sestavte obvod na platformě NI ELVIS II.

### Postup k bodu č.12 zadání:

- Vstupní svorky zapojení připojte na FGEN a na analogový vstup označený jako AI 0, výstup zapojení připojte na analogový vstup označený jako AI 1.
- Spust'te program počítače NI ELVISmx Instrument Launcher.
- Vyberte položku statického analyzátoru s označením Bode Analyzer a nastavte tyto parametry:

Rozsah frekvencí

Start: **5 Hz**

Stop: **5 kHz**

Krok na dekádu: **10**

- Po kontrole správnosti zapojení vyučujícím, přiveďte napětí na PROTOTYPING BOARD.
- Spust'te simulaci aplikace Bode analyzer.
- Tabulka 3 zobrazuje hodnoty zesílení filtru horní propusti. Z průběhu vyčtěte a doplňte hodnoty.
- Stejné nastavení použijte i u ostatních filtrů.
- Zaznamenané průběhy přiložte do protokolu o měření.

## Výsledky

Tabulka 2: Hodnoty frekvencí jednotlivých filtrů

	$f_m$ [Hz]		
HP			
DP			
	$f_0$ [Hz]	$f_{m1}$ [Hz]	$f_{m2}$ [Hz]
PP			

Graf simulace filtru horní propusti

Graf simulace filtru dolní propusti

Graf simulace filtru pásmové propusti

Graf amplitudové frekvenční charakteristiky filtru horní propusti

Tabulka 3: Hodnoty zesílení filtru horní propusti

Frekvence [Hz]	Zesílení [dB]
5	
10	
100	
1k	
5k	

Graf amplitudové frekvenční charakteristiky filtru dolní propusti

Tabulka hodnot zesílení filtru dolní propusti

Tabulka hodnot zesílení filtru pásmové propusti

Graf amplitudové frekvenční charakteristiky filtru pásmové propusti

BONUS

Graf amplitudové frekvenční charakteristiky invertujícího zesilovače

Tabulka hodnot zesílení invertujícího zesilovače

## Kontrolní otázky

1. Uveďte, co znamená hodnota  $V_{rms}$  při simulaci obvodů.
2. Uveďte, proč jsou operační zesilovače ve schématu označeny OZ\_A.
3. Jaký je rozdíl mezi kritickou frekvencí a propustnou frekvencí filtru pásmové propusti?
4. Jak ze simulace určíme kritickou frekvenci?

<b>VŠB-TU Ostrava</b>		<b>KATEDRA KYBERNETIKY A BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ</b>		<b>Fakulta elektrotechniky a informatiky</b>
Datum měření:		<b>1</b>	<b>INVERTUJÍCÍ ZESILOVAČ A FILTRY</b>	Jméno a příjmení 1. studenta:
Datum odevzdání:	Hodnocení:			Jméno a příjmení 2. studenta:

## Invertující zesilovač

### Použité vybavení a součástky

- Pracovní stanice NI ELVIS II
- Počítač se softwary NI ELVISmx Instrument Launcher a NI MultiSim
- TL064;  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ ;  $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$ ;  $C_1 = 1 \text{ }\mu\text{F}$ ;  $C_2 = 10 \text{ nF}$

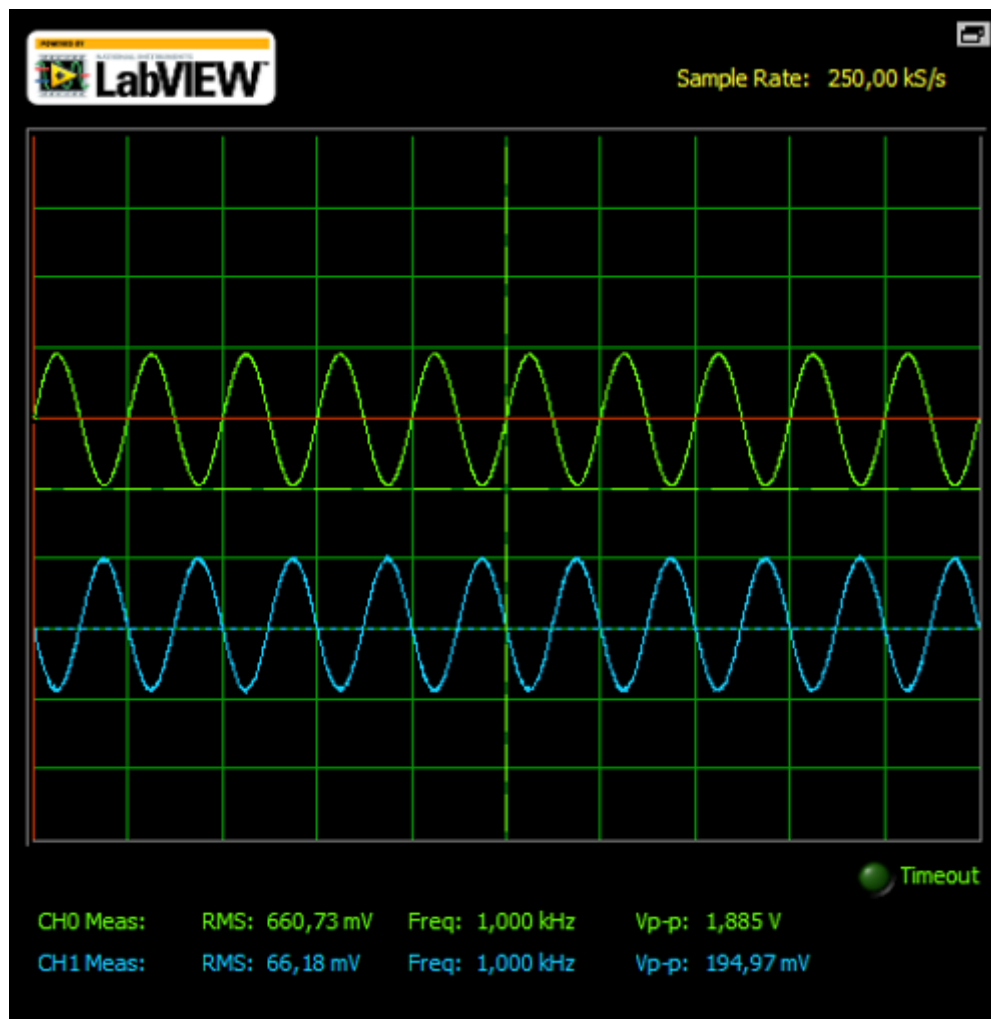
### Popis měření

- Prostudovali jsme si jednotlivé přílohy – rozložení prvků na panelu NI ELVIS II, základní rozdělení nepájivého kontaktního pole a úvod do softwaru NI MultiSim.
- V MultiSimu jsme namodelovali obvod invertujícího zesilovače.
- Následně jsme vypočítali teoretickou hodnotu zesílení daného obvodu, podle uvedeného vztahu.
- Pomocí virtuálního multimetru jsme si v programu pomocí simulace změřili hodnotu výstupního napětí a výsledek zapsali do tabulky (Tabulka 4).
- Pomocí digitálního multimetru platformy jsme zapojili do příslušných zdírek banánkové svorky a krokodýlkama změřili elektrický odpor obou rezistorů, což bylo nezbytné pro další bod měření.
- Sestavili jsme obvod na platformě, na vstup zapojení jsme přivedli  $U = 1 \text{ V}$  a výstup jsme měřili digitálním multimetrem platformy. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 4).
- Jako poslední úkol jsme na vstup připojili výstup funkčního generátoru platformy, kde jsme generovali střídavý průběh napětí s frekvencí  $f = 1 \text{ kHz}$  a našim cílem bylo zobrazení výstupního napětí souběžně se vstupním. Výsledný graf je uveden ve výsledcích měření.

### Výsledky měření

Tabulka 4: Hodnoty výstupního napětí invertujícího zesilovače (ukázkový protokol)

	$U_{\text{vys}} [\text{V}]$	$\Delta_m [\text{V}]$	$\delta_m [\%]$
<b>MultiSim</b>	-9,999	0,001	0,05
<b>ELVIS</b>	-9,797	0,203	10,15



Obrázek 30: Zobrazení vstupního napětí souběžně se vstupním napětím

## Odpovědi na otázky

1. Prostudujte dokumentaci obvodu TL064 a uveďte, proč nejsou některé vývody připojeny.

Podle dokumentace se jedná o integrovaný obvod, který obsahuje další čtyři operační zesilovače. Využíváme pouze jeden z nich, ostatní nepřipojujeme.

2. Jakou funkci má v zapojení rezistor  $R_2$ ?

Tento rezistor ovlivňuje svou hodnotou velikost zesílení obvodu.

3. Odpovídá změřené zesílení Vámi vypočtené hodnotě?

Hodnota zesílení nám vyšla podle uvedeného vztahu  $A = 10$ . Jestliže na vstup zapojení přivedeme  $U = 1 \text{ V}$ , na výstupu operačního zesilovače naměříme hodnotu  $U_{\text{výst}} = -10 \text{ V}$ , protože se jedná o invertující zapojení. Můžeme tedy říct, že hodnota odpovídá vypočtenému zesílení.

4. Pracuje zapojení správně? Popište, jak by mělo pracovat.

Zapojení by mělo zesilovat signál o hodnotu jejíž velikost určuje hodnota rezistorů  $R_1$  a  $R_2$ , jelikož se jedná o invertující zesilovač, výstupní napětí bude invertované. Podle hodnoty zesílení, která souhlasí můžeme prohlásit, že obvod pracuje správně.

## Závěr

Namodelovali jsme zapojení invertujícího operačního zesilovače. Zesílení, které jsme spočítali souhlasí s napětím, které jsme změřili v rámci simulace (Tabulka 4). Následné praktické sestavení obvodu na platformě a měření výstupního napětí potvrdilo, že zapojení pracuje správně. Odchylka, které jsme dosáhli při měření na platformě byla znatelně vyšší, což je zobrazeno ve výsledcích měření. Tato nepřesnost na rozdíl od simulace je způsobena zařazením fyzických prvků do obvodu a odchylce způsobenou fyzickým multimetrem platformy.

Posledním úkolem bylo zobrazit výstupní napětí zapojení. Obrázek 30 dokazuje, že výstupní napětí – zobrazeno zeleně – je opravdu vůči vstupnímu fázově posunuto o  $180^\circ$ . Zároveň je zesíleno o zesílení  $A = 10$ , což je patrné z číselných údajů napětí špička-špička pod grafem. Zesílená hodnota nemá minusové znaménko, protože inverze signálu se projevuje právě v posunutí fáze.

## Frekvenční charakteristiky filtrů

### Použité vybavení a součástky

- Pracovní stanice NI ELVIS II
- Počítač se softwary NI ELVISmx Instrument Launcher a NI MultiSim
- TL064;  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ ;  $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$ ;  $C_1 = 1 \text{ }\mu\text{F}$ ;  $C_2 = 10 \text{ nF}$

### Popis měření

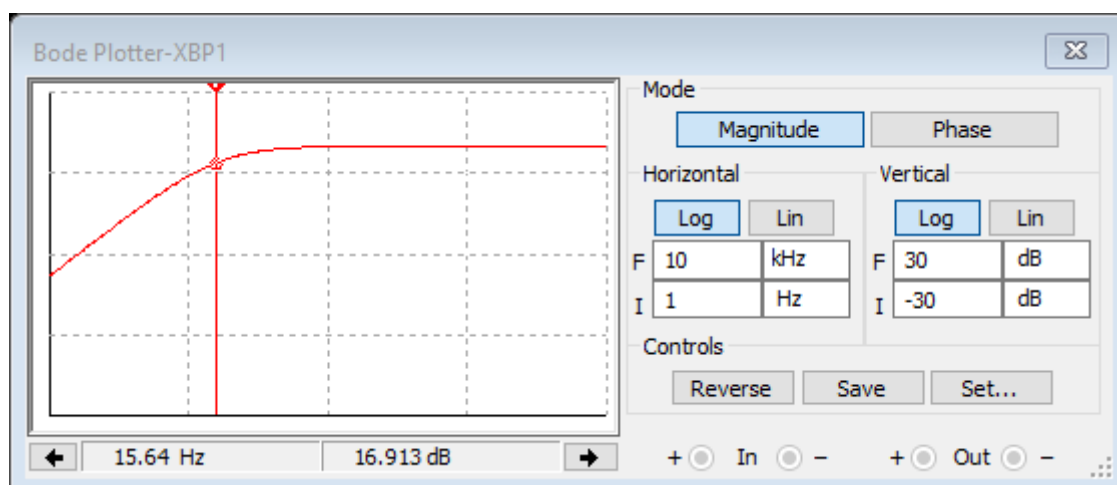
- V programu NI MultiSim jsme vytvořili obvod filtru horní propusti.
- Podle uvedeného vztahu jsme vypočítali kritickou frekvenci pro daný filtr, tuto hodnotu jsme zapsali do tabulky (Tabulka 5).
- Pomocí virtuálního prvku Bode Plotter jsme provedli simulaci a zobrazili tak frekvenční charakteristiky filtru horní propusti. Graf je uveden ve výsledcích měření (Obrázek 31).
- V programu MultiSim jsme vytvořili obvod filtru dolní propusti.
- Podle uvedeného vztahu jsme vypočítali kritickou frekvenci pro daný filtr, tuto hodnotu jsme zapsali do tabulky (Tabulka 5).
- Pomocí virtuálního prvku Bode Plotter jsme provedli simulaci a zobrazili tak frekvenční charakteristiky filtru horní propusti. Graf je uveden ve výsledcích měření (Obrázek 32).
- V programu MultiSim jsme vytvořili obvod filtru pásmové propusti.
- Podle uvedeného vztahu jsme vypočítali propustnou frekvenci pro daný filtr, tuto hodnotu jsme zapsali do tabulky (Tabulka 5).
- Pomocí virtuálního prvku Bode Plotter jsme provedli simulaci a zobrazili tak frekvenční charakteristiky filtru horní propusti. Graf je uveden ve výsledcích měření (Obrázek 33).
- Z provedené simulace jsme z maximální amplitudy signálu odečetli 3 dB a určili tak obě kritické frekvence. Hodnoty jsou uvedeny ve výsledcích měření (Tabulka 5).

- Při posledních bodech měření jsme realizovali obvody na platformě NI ELVIS II. Pomocí statického analyzátoru platformy jsme zobrazili grafy filtru horní propusti, dolní propusti a pásmové propusti. Tyto grafy jsou uvedeny ve výsledcích měření (Obrázek 34, Obrázek 35 a Obrázek 36).
- Hodnoty zesílení jsme zapisovali do jednotlivých tabulek (Tabulka 6, Tabulka 7 a Tabulka 8).

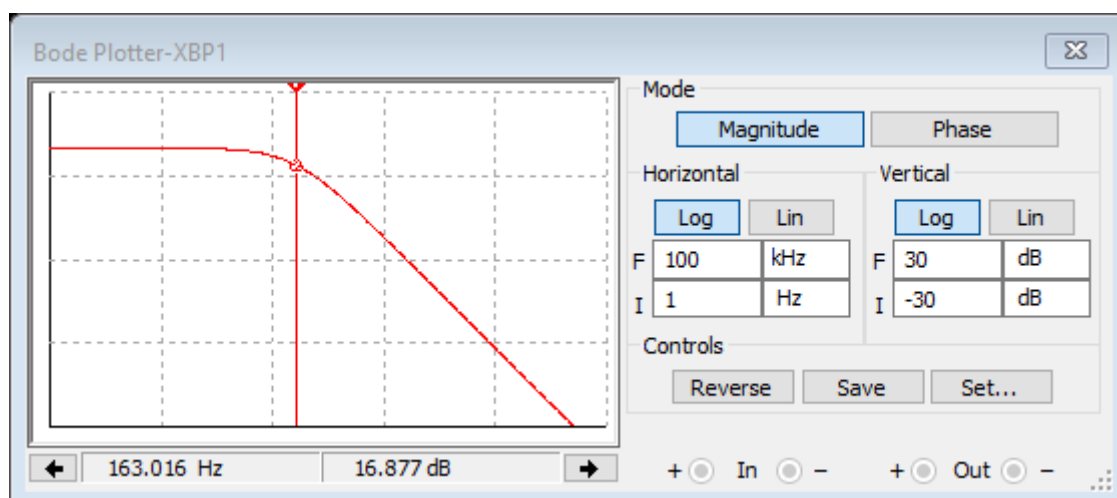
## Výsledky měření

Tabulka 5: Hodnoty frekvencí jednotlivých filtrů (ukázkový protokol)

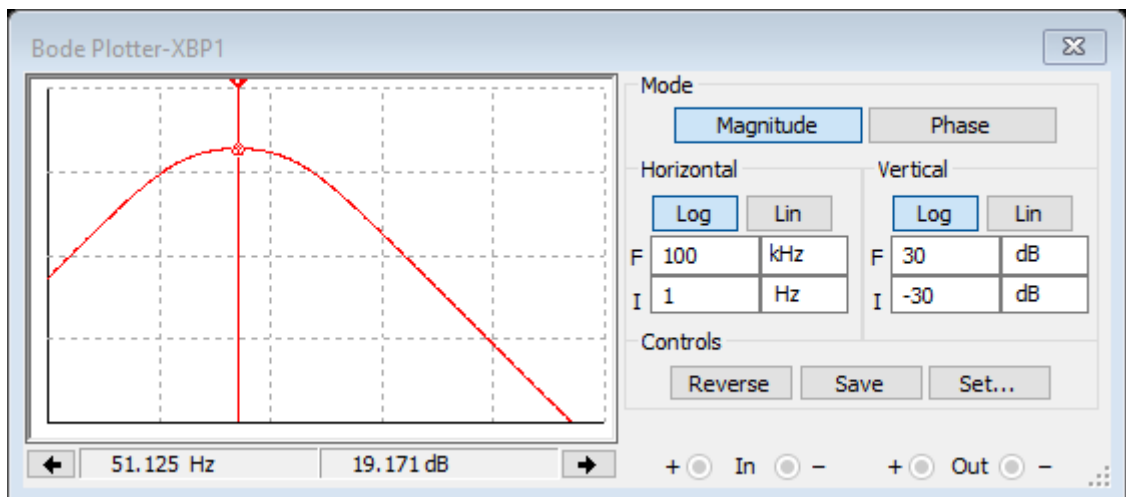
	$f_m$ [Hz]		
HP	15,9		
DP	159,2		
	$f_0$ [Hz]	$f_{m1}$ [Hz]	$f_{m2}$ [Hz]
PP	50,3	13,6	184,6



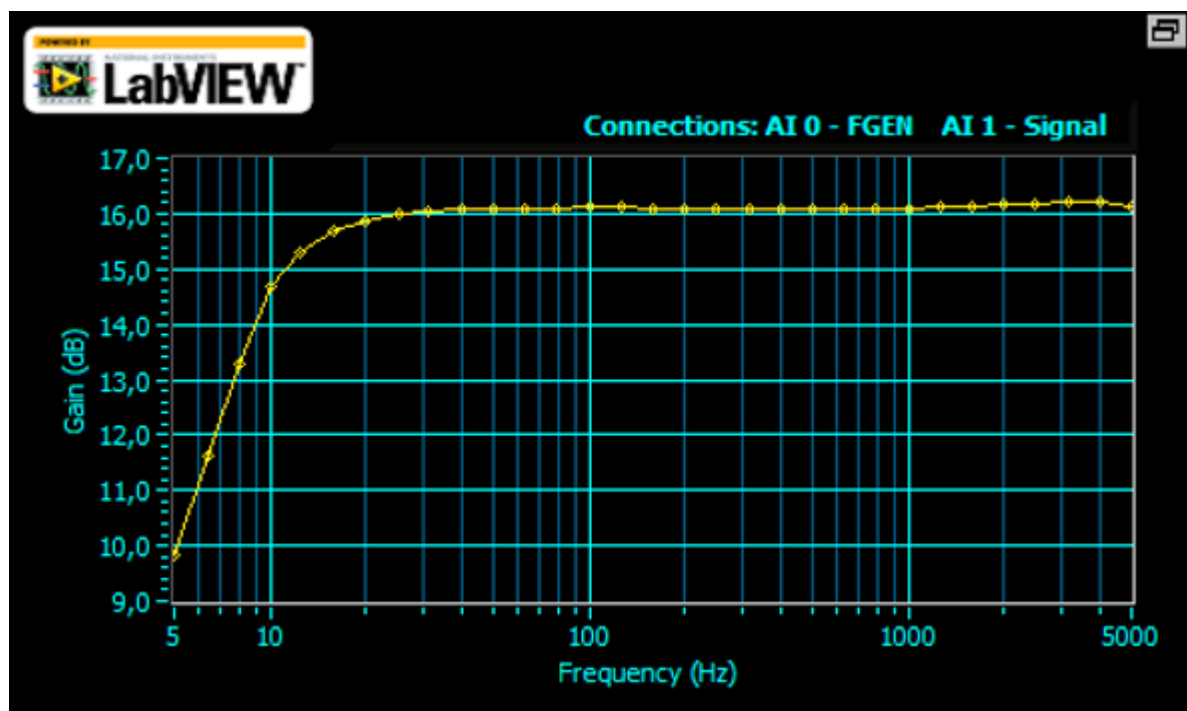
Obrázek 31: Simulace amplitudové charakteristiky filtru horní propusti



Obrázek 32: Simulace amplitudové charakteristiky filtru dolní propusti



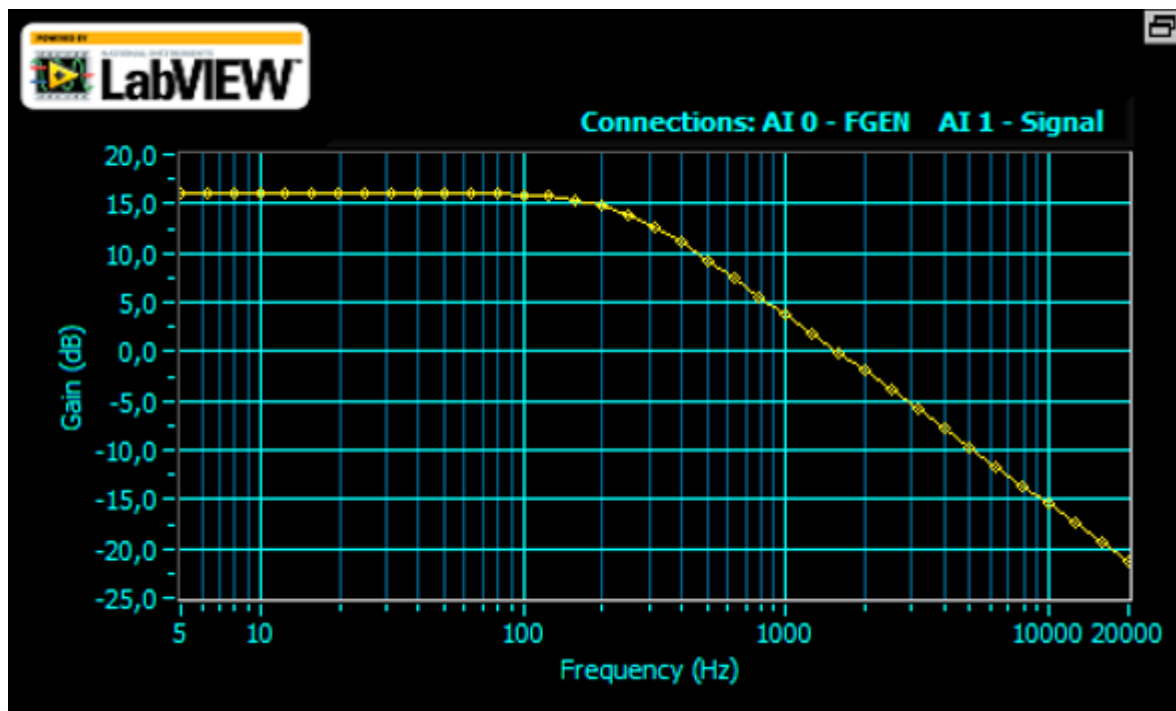
Obrázek 33: Simulace amplitudové charakteristiky filtru pásmové propusti



Obrázek 34: Amplitudová frekvenční charakteristika filtru horní propusti

Tabulka 6: Hodnoty zesílení filtru horní propusti (ukázkový protokol)

Frekvence [Hz]	Zesílení [dB]
5	9,8
10	14,7
100	16,2
1k	16,1
5k	16,1



Obrázek 35: Amplitudová frekvenční charakteristika filtru dolní propusti

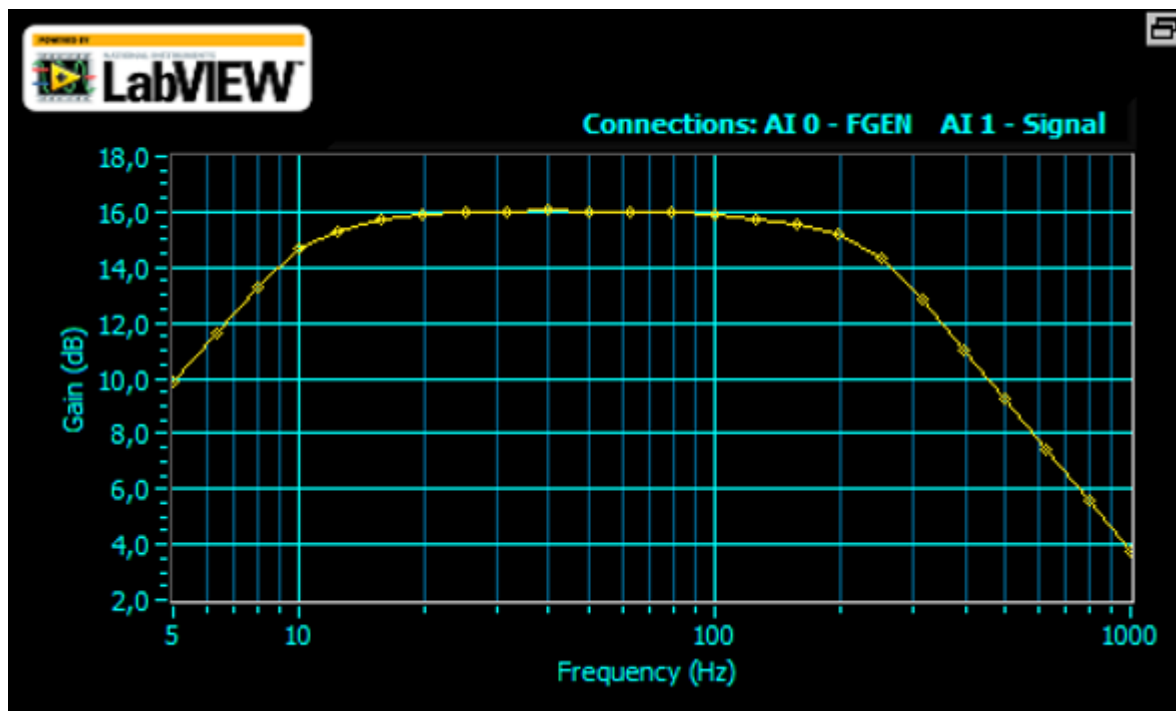
Tabulka 7: Hodnoty zesílení filtru dolní propusti (ukázkový protokol)

Frekvence [Hz]	Zesílení [dB]
5	15,8
10	15,8
100	15,5
1k	3,5
5k	-10,0

Tabulka 8: Hodnoty zesílení filtru pásmové propusti (ukázkový protokol)

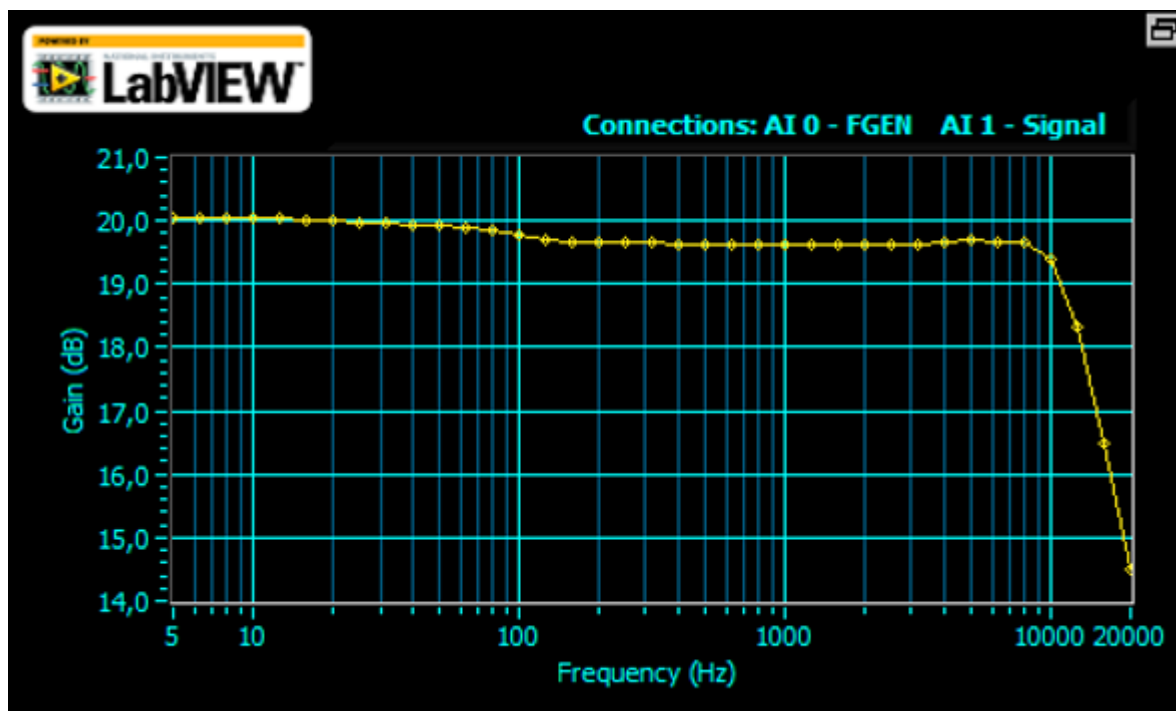
Frekvence [Hz]	Zesílení [dB]
5	10,0
10	14,7
100	16,0
1k	3,7





Obrázek 36: Amplitudová frekvenční charakteristika filtru pásmové propusti

BONUS



Obrázek 37: Amplitudová frekvenční charakteristika invertujícího zesilovače

Tabulka 9: Hodnoty zesílení invertujícího zesilovače (ukázkový protokol)

Frekvence [Hz]	Zesílení [dB]
5	20,0
10	20,0
100	19,8
1k	19,6
10k	19,4
20k	14,5

## Odpovědi na otázky

1. Uveďte, co znamená hodnota  $V_{\text{rms}}$  při simulaci obvodů.

Označení  $5 V_{\text{rms}}$ , označuje root mean square, a tedy střední kvadratickou hodnotu. Dostáváme se opět k původu softwaru, a tedy za hranice České republiky. Identické a české označení této veličiny je efektivní hodnota. Můžeme tedy psát  $5 V_{\text{rms}} = 5 V_{\text{ef}}$ .

2. Uveďte, proč jsou operační zesilovače ve schématu označeny OZ\_A.

Jelikož používáme k měření integrovaný obvod TL064, který se skládá z dalších čtyřech operačních zesilovačů, ostatní části obvodu jsou označeny jako OZ\_B, OZ\_C a OZ\_D. Ty ale do obvodu nezařazujeme, využíváme pouze jediný operační zesilovač.

3. Jaký je rozdíl mezi kritickou frekvencí a propustnou frekvencí filtru pásmové propusti?

Kritická frekvence je hodnota, při které obvod razantně změní svoje zesílení. Tuto hodnotu pozorujeme u filtrů HP a DP, kdy při kritické frekvenci dojde k poklesu zesílení. Naproti tomu u filtru PP sledujeme propustnou frekvenci filtru, díky které zjistíme oblast filtru, kde je jeho zesílení nejvyšší.

4. Jak ze simulace určíme kritickou frekvenci?

V simulaci si kurzorem změříme maximální hodnotu fáze, pro zjištění kritické frekvence potřebujeme hodnotu fáze rovnu  $\varphi_{\text{max}} - 3 \text{ dB}$ . Přesná hodnota se v simulaci bohužel hledá jen těžko, a proto nám postačí hodnota přibližná.

## Závěr

Měřili jsme frekvenční závislosti filtračních obvodů, nejprve virtuálně a následně i fyzicky přímo na platformě NI ELVIS II. Bylo důležité si uvědomit, že chceme zobrazit signál, který jsme přivedli na vstup po průchodu filtrem. Zobrazovali jsme tedy výstupní frekvenční charakteristiky v závislosti na vstupu. Tak jsme zařazovali i virtuální prvek. Ke svorce IN jsme připojovali vstupní a ke svorce OUT výstupní svorky obvodu. Vypočítané kritické frekvence se shodovaly se simulací, nebylo však možné tyto hodnoty nastavit úplně přesně, simulace to nepodporuje. Kritická frekvence filtru je rovna hodnotě fáze  $-3$  dB.

Jednotlivě změřené frekvenční charakteristiky a hodnoty zesílení jsou uvedeny v tabulkách a na obrázcích ve výsledcích měření. U horní propusti jasně vidíme, že obvod propouští frekvence vyšší, než je jeho mezní frekvence – a tedy vyšší, než je hodnota  $f_m = 15,9$  Hz – ostatní frekvence filtr razantně tlumí. Naproti tomu dolní propust všechny vyšší frekvence, než je jeho mezní kmitočet – a tedy hodnota  $f_m = 159,2$  Hz – potlačí, propouští pouze hodnoty nižší než  $f_m$ . Pásmová propust oproti zmíněným filtrům propouští určité frekvenční pásmo, jehož hodnota je dána prvky obvodu. V našem případě to byla hodnota  $f_0 \approx 50$  Hz. Při poklesu o 3 dB jsme dostali hodnoty obou mezních frekvencí, které jsou přibližně stejné jako u předchozích článků, protože jsme pro konstrukci obvodu použili stejné prvky. Hodnoty, ve kterých filtr propouštěl byly frekvence vyšší, než je  $f_{m1} = 13,6$  Hz a hodnoty, které filtr potlačoval byly frekvence vyšší, než je hodnota  $f_{m2} = 184,6$  Hz.

Hodnota zesílení invertujícího zesilovače při 20 kHz je 14,5 dB. Můžeme říci, že se zvyšující se frekvencí hodnota zesílení klesá. Obrázek 37 zobrazuje skutečnost, že jakmile frekvence dosáhla 10 kHz, došlo k razantnímu útlumu signálu.

## Příloha 6: Převodník napětí na proud

### Cíl úlohy

Prostřednictvím této laboratorní úlohy se naučíte a zopakujete si:

- Základní zákonitosti průchodu proudu sériovým a paralelním obvodem.
- Pracovat s prvkem platformy – dvoupólovým analyzátozem a vykreslovat VA charakteristiku diody.
- Pracovat v simulaci s měřicími sondami a spínacími prvky.

### Zadání

1. Pomocí dvoupólového analyzátoru proměřte VA charakteristiku LED diody.
2. V softwaru NI MultiSim namodelujte obvod sériového převodníku.
3. Proveďte virtuální měření výstupního proudu ve všech větvích zpětné vazby obvodu.
4. Pomocí digitálního multimetru změřte hodnoty rezistorů  $R_1$  a  $R_2$ .
5. Sestavte obvod sériového převodníku na desce nepřájivého pole platformy NI ELVIS II.
6. Proveďte měření výstupního proudu ve všech větvích zpětné vazby sériového obvodu.
7. V softwaru NI MultiSim namodelujte obvod paralelního převodníku.
8. Proveďte virtuální měření výstupního proudu ve všech větvích zpětné vazby obvodu.
9. Sestavte obvod paralelního převodníku na desce nepřájivého pole platformy NI ELVIS II.
10. Proveďte měření výstupního proudu ve všech větvích zpětné vazby paralelního obvodu.
11. Vykreslete grafické závislosti.

### Předpokládané znalosti

Pro tuto úlohu se vyžaduje nastudování:

- Kapitola 4.2 Převodník napětí na proud  
HANÁČEK, Michal. *Soubor laboratorních úloh I pro modulární výukovou platformu NI ELVIS*. Ostrava, 2017. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Vladimír Kašík, Ph.D.

Zaměřte svoji pozornost na:

- Příloha 3: Seznámení s návrhovým a simulačním programem NI MultiSim

### Použité vybavení a součástky

- Pracovní stanice NI ELVIS II
- Počítač se softwaru NI ELVISmx Instrument Launcher a NI MultiSim
- LM741;  $R_1 = 100\text{ k}\Omega$ ;  $R_2 = 1\text{ k}\Omega$ ; 3x zelená LED dioda; 2 spínací tlačítka s aretací

## Teoretický rozbor

Využitím zpětné vazby, udržující požadovanou hodnotu proudu na konstantní (nebo regulovatelné) úrovni lze výrazně zlepšit vlastnosti zapojení operačního zesilovače jako zdroje proudu. Pokud předpokládáme pro zjednodušení, že operační zesilovač je ideální, pak napětí na vstupu OZ se musí rovnat napětí na odporu R<sub>2</sub> (Schéma 9). Rozdílové napětí mezi vstupy považujeme za přibližně nulové, stejně jako vstupní odpor obou vstupů operačního zesilovače za nekonečný. Potom jediný proud, který může na odporu R<sub>2</sub> vyvolat úbytek napětí je proud protékající z výstupu OZ přes odpor zátěže (v našem případě LED diody) a na velikosti tohoto zatěžovacího odporu nemůže tento úbytek záviset [13].

U skutečného operačního zesilovače se potom nastaví rozdíl mezi vstupy tak, aby výstupu OZ bylo právě potřebné napětí pro průchod proudu odporem zátěže a odporem R<sub>2</sub>, který vytvoří na odporu R<sub>2</sub> úbytek napětí. Proud, procházející zpětnou vazbou tedy nastavíme pomocí vztahu: [13]

$$I = \frac{U_{VST}}{R_2}$$

Maximální velikost zatěžovacího odporu, kterým je schopen protékat zpětnovazební proud je určen vztahem: [13]

$$R_{MAX} = \frac{(+U_{CC} - U_{CES} - U_{VST})}{I}$$

Kde U<sub>CC</sub> je napájecí napětí operačního zesilovače a U<sub>CES</sub> je saturační napětí horního tranzistoru koncového stupně OZ. Vzhledem k možnosti měnit velikost proudu pomocí změny vstupního napětí lze tento obvod považovat za převodník napětí/proud. [13]

## Pracovní postup

### Postup k bodu č.1 zadání:

- Připojte LED diodu na piny DUT+ (anoda) a DUT– platformy.
- Zapněte počítač společně s platformou NI ELVIS II.
- Spusťte program počítače NI ELVISmx Instrument Launcher.
- Vyberte položku dvoupólového analyzátoru (2Wire).
- Ve vyskakovacím okně nastavte tyto parametry:

Start: **0 V**

Přírůstek: **0,05 V**

Stop: **+2,0 V**

*Poznámka: Hodnoty proudu nastavujte v mezích technických parametrů součástky. Dodržujte maximální hodnoty, mohlo by dojít k poškození diody. Pročtěte si technickou dokumentaci a nastavte hodnotu proudu tak, aby nepřekročil maximální hodnotu [12].*

- Přiveďte napětí na PROTOTYPING BOARD.
- Spusťte simulaci, vykreslený graf s hodnotou otevíracího napětí uveďte do výsledků protokolu o měření.

## Postup k bodu č.2 zadání:

- Schéma 9 zobrazuje sériový převodník napětí na proud. Sestavte obvod.

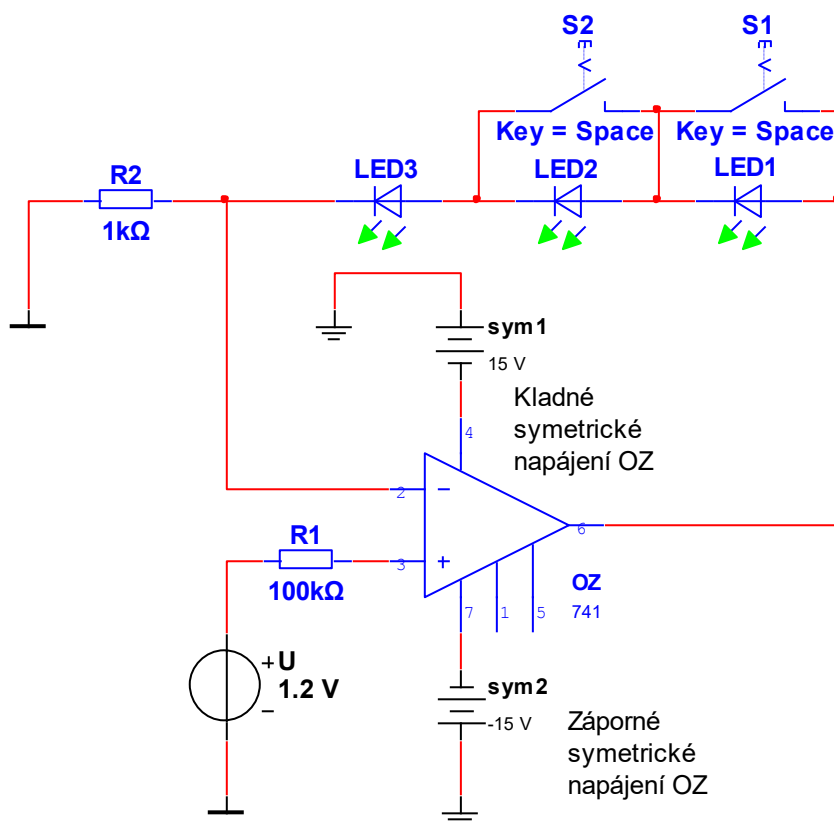


Schéma 9: Sériový převodník napětí na proud

## Postup k bodu č.3 zadání:

- K měření použijte měřicí sondy programu (Příloha 3).
- Měřte proud procházející každou LED diodou, hodnoty zapisujte do tabulky (Tabulka 10).
- Do tabulky zvýrazněte hodnotu napětí, při které začaly LED diody emitovat záření.

## Postup k bodu č.4 zadání:

- Spust'te program počítače NI ELVISmx Instrument Launcher.
- Vyberte položku digitálního multimetru (DMM).

*Poznámka: Budeme měřit hodnoty elektrického odporu, a tedy zvolíme ikonu ohmu ve vyskakovacím okně virtuálního prvku. Následně podle vizuálního návodu pod výběrem měřené veličiny zapojíme banánkové konektory s krokodýlkama.*

- Jednotlivé rezistory zapojte do nepájivého kontaktního pole a změřte hodnoty elektrického odporu.

### Postup k bodu č.5 zadání:

- Zjistěte, na jakém principu fungují tlačítka a zapojte tak, aby plnili svou obvodovou funkci.
- Sestavte obvod na platformě NI ELVIS II.
- Po kontrole správnosti zapojení vyučujícím, přiveďte napětí na PROTOTYPING BOARD.

### Postup k bodu č.6 zadání:

- Měřte výstupní proud obvodu, změřené hodnoty zapisujte do tabulky (Tabulka 10).

### Postup k bodu č.7 zadání:

- Schéma 10 zobrazuje paralelní převodník napětí na proud. Sestavte obvod.

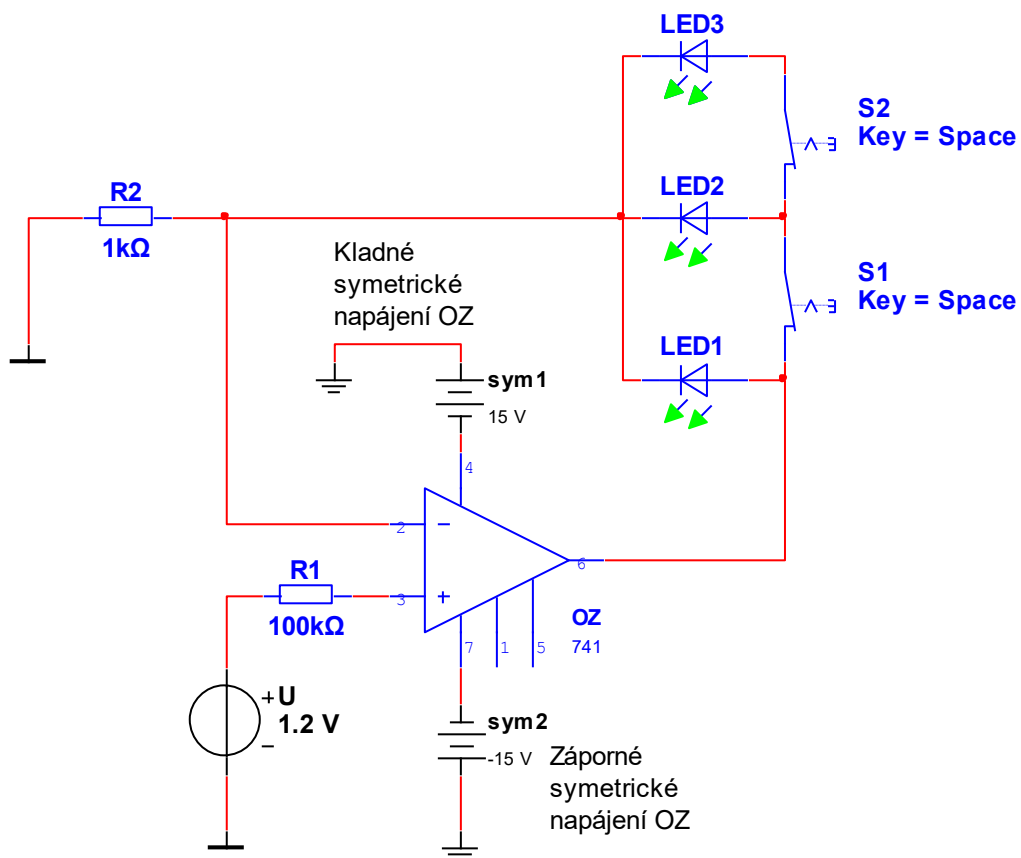


Schéma 10: Paralelní převodník napětí na proud

### Postup k bodu č.8 zadání:

- K měření použijte měřicí sondy programu (Příloha 3).
- Měřte proud procházející každou LED diodou, hodnoty zapisujte do tabulky (Tabulka 11).
- Do tabulky zvýrazněte hodnotu napětí, při které začaly LED diody emitovat záření.

### Postup k bodu č.9 zadání:

- Zapojte tlačítka tak, aby plnily svoji funkci.
- Sestavte obvod na platformě NI ELVIS II.
- Po kontrole správnosti zapojení vyučujícím, přiveďte napětí na PROTOTYPING BOARD.

### Postup k bodu č.10 zadání:

- Měřte výstupní proud obvodu, změřené hodnoty zapisujte do tabulky (Tabulka 11).

### Postup k bodu č.11 zadání:

- Vykreslete grafické závislosti měřených hodnot proudu sériového a paralelního měření.
- Sériový i paralelní graf bude obsahovat hodnoty NI MultiSim i NI ELVIS II.

## Výsledky

*Graf VA charakteristiky zelené LED diody*

*Tabulka 10: Hodnoty proudu sériového převodníku*

U [V]	NI MultiSim			NI ELVIS II		
	I <sub>LED1</sub> [mA]	I <sub>LED2</sub> [mA]	I <sub>LED3</sub> [mA]	I <sub>LED1</sub> [mA]	I <sub>LED2</sub> [mA]	I <sub>LED3</sub> [mA]
0						
1,2						
2,4						
3,6						
4,8						
6						
7,2						
8,4						
9,6						
10,8						
12						

*Tabulka 11: Hodnoty proudu paralelního převodníku*

U [V]	NI MultiSim			NI ELVIS II		
	I <sub>LED1</sub> [mA]	I <sub>LED2</sub> [mA]	I <sub>LED3</sub> [mA]	I <sub>LED1</sub> [mA]	I <sub>LED2</sub> [mA]	I <sub>LED3</sub> [mA]
0						
1,2						
2,4						
3,6						
4,8						
6						
7,2						



8,4						
9,6						
10,8						
12						

*Graf sériového zapojení obvodu*

*Graf paralelního zapojení obvodu*

## Kontrolní otázky

1. Vysvětlete rozdíl průchodu proudu ve zpětné vazbě mezi sériovým a paralelním zapojení obvodu.
2. Jaký význam mají v zapojení spínače? Popište funkci obvodu při minimálně jednom sepnutém spínači. Doložte fotografii paralelního obvodu při sepnutém a rozepnutém tlačítku, v závěru porovnejte fotografie.
3. V zapojení se nachází 3 LED diody. Kolik diod bychom do obvodu mohli teoreticky zařadit?
4. Podle simulovaných hodnot proudu se zdá princip zapojení stejný, je tomu tak?
5. Odpovídá simulace skutečnému měření?

<b>VŠB-TU Ostrava</b>		<b>KATEDRA KYBERNETIKY A BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ</b>		<b>Fakulta elektrotechniky a informatiky</b>
<i>Datum měření:</i>		<b>2</b>	<b>PŘEVODNÍK NAPĚTÍ NA PROUD</b>	<i>Jméno a příjmení 1. studenta:</i>
<i>Datum odevzdání:</i>	<i>Hodnocení:</i>			<i>Jméno a příjmení 2. studenta:</i>

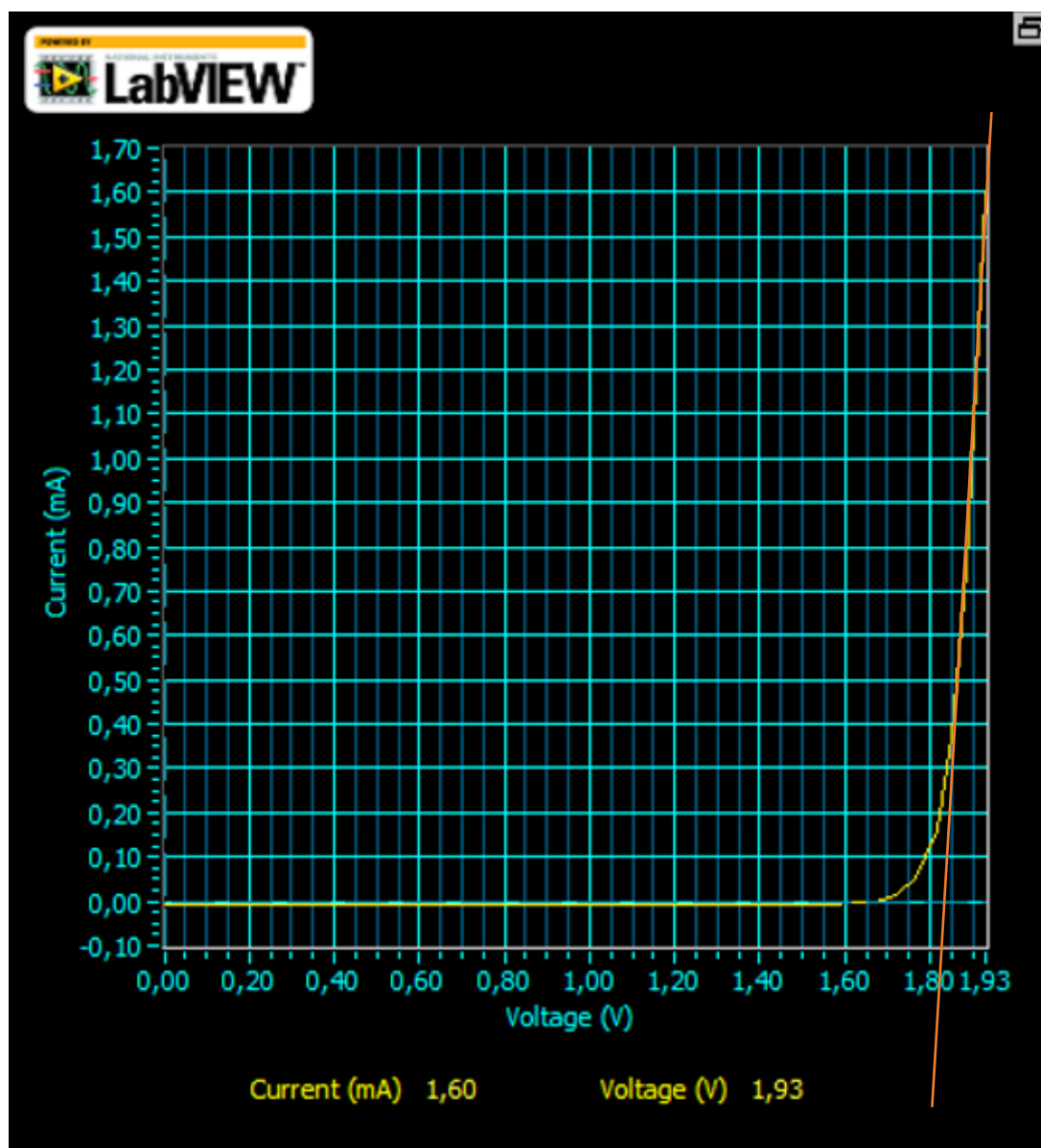
## Použité vybavení a součástky

- Pracovní stanice NI ELVIS II
- Počítač se softwaru NI ELVISmx Instrument Launcher a NI MultiSim
- LM741;  $R_1 = 100\text{ k}\Omega$ ;  $R_2 = 1\text{ k}\Omega$ ; 3x zelená LED dioda; 2 spínací tlačítka s aretací

## Popis měření

- Po zapnutí počítače a platformy jsme zapojili LED diodu do příslušných zdírek na nepájivém kontaktním poli platformy NI ELVIS II a pomocí programu virtuální instrumentace NI ELVISmx s označením 2Wire jsme změřili VA charakteristiku zelené LED diody. Tento graf je doložen ve výsledcích měření (Obrázek 38).
- Sériový obvod jsme namodelovali v programu NI MultiSim.
- Prováděli jsme simulaci pomocí měřicích sond pro každou LED diodu zvlášť. Hodnoty proudů sériového zapojení jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 12).
- Následně jsme připojili na desku nepájivého pole rezistory a pomocí digitálního multimetru platformy jsme změřili jejich odpor, což bylo nezbytné, pro správnou realizaci obvodu.
- Sestavili jsme zapojení na platformě NI ELVIS II podle schématu sériového převodníku.
- Změřili jsme hodnoty proudů na každé diodě zpětné vazby a hodnoty jsme zapsali do tabulky (Tabulka 12).
- Paralelní obvod jsme namodelovali v programu NI MultiSim.
- Prováděli jsme simulaci pomocí měřicích sond pro každou LED diodu zvlášť. Hodnoty proudů sériového zapojení jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 13).
- Sestavili jsme zapojení na platformě NI ELVIS II podle schématu paralelního převodníku.
- Změřili jsme hodnoty proudů na každé diodě zpětné vazby a hodnoty jsme zapsali do tabulky (Tabulka 13).
- Vykreslené závislosti proudů jsou přiloženy ve výsledcích protokolu o měření.

## Výsledky měření



Obrázek 38: VA charakteristika zelené LED diody

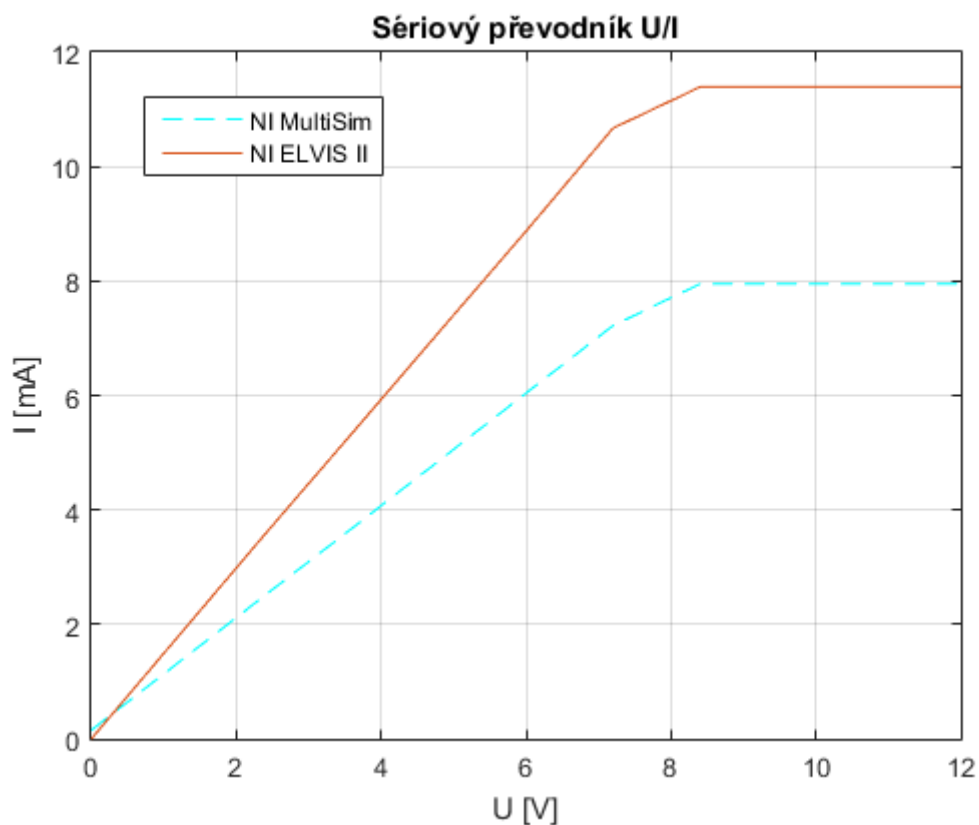
Tabulka 12: Hodnoty proudu sériového převodníku (ukázkový protokol)

U [V]	NI MultiSim			NI ELVIS II		
	I <sub>LED1</sub> [mA]	I <sub>LED2</sub> [mA]	I <sub>LED3</sub> [mA]	I <sub>LED1</sub> [mA]	I <sub>LED2</sub> [mA]	I <sub>LED3</sub> [mA]
0	0,152	0,150	0,149	0	0	0
1,2	1,33	1,33	1,32	1,79	1,79	1,79
2,4	2,51	2,50	2,50	3,58	3,58	3,58
3,6	3,68	3,68	3,68	5,34	5,34	5,34
4,8	4,86	4,86	4,85	7,11	7,11	7,11
6	6,04	6,03	6,03	8,87	8,87	8,87
7,2	7,22	7,21	7,21	10,67	10,67	10,67

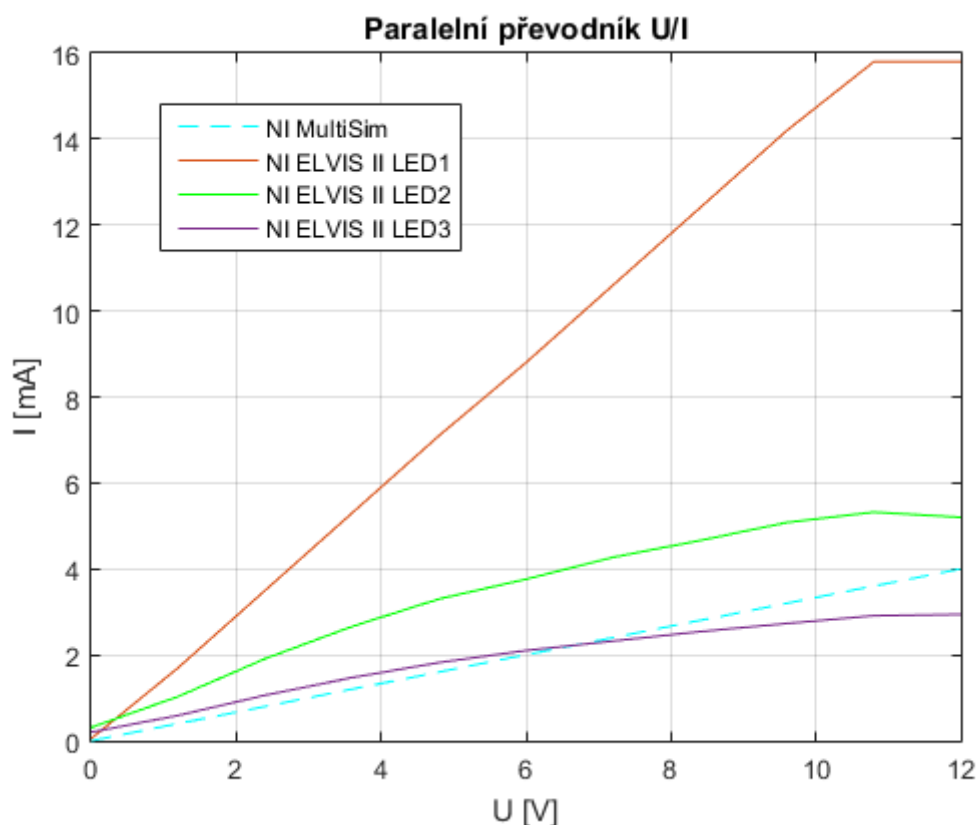
8,4	7,95	7,94	7,94	11,39	11,39	11,39
9,6	7,95	7,94	7,94	11,39	11,39	11,39
10,8	7,95	7,94	7,84	11,39	11,39	11,39
12	7,95	7,94	7,94	11,39	11,39	11,39

Tabulka 13: Hodnoty proudu paralelního převodníku (ukázkový protokol)

U [V]	NI MultiSim			NI ELVIS II		
	I <sub>LED1</sub> [mA]	I <sub>LED2</sub> [mA]	I <sub>LED3</sub> [mA]	I <sub>LED1</sub> [mA]	I <sub>LED2</sub> [mA]	I <sub>LED3</sub> [mA]
0	0	0	0	0,05	0,31	0,20
1,2	0,399	0,399	0,399	1,70	1,03	0,59
2,4	0,798	0,798	0,798	3,50	1,91	1,06
3,6	1,20	1,20	1,20	5,30	2,66	1,47
4,8	1,60	1,60	1,60	7,10	3,30	1,82
6	2,00	2,00	2,00	8,80	3,76	2,10
7,2	2,40	2,40	2,40	10,60	4,27	2,32
8,4	2,80	2,80	2,80	12,40	4,66	2,54
9,6	3,20	3,20	3,20	14,20	5,08	2,73
10,8	3,60	3,60	3,60	15,80	5,32	2,91
12	4,00	4,00	4,00	15,80	5,20	2,94



Obrázek 39: Hodnoty proudu sériového převodníku U/I



Obrázek 40: Hodnoty proudu paralelního převodníku U/I

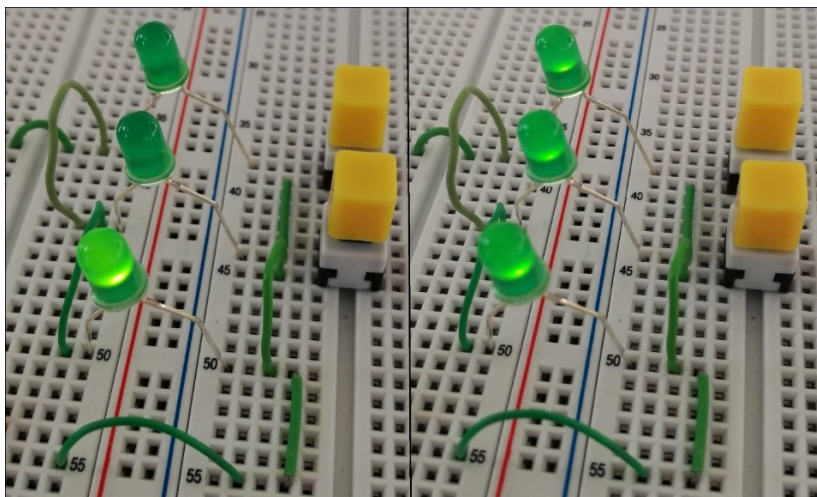
## Odpovědi na otázky

1. Vysvětlete rozdíl průchodu proudu ve zpětné vazbě mezi sériovým a paralelním zapojení obvodu.

V sériově zapojeném obvodu teče stejný proud přes všechny LED diody současně, není proto překvapením, když jsme naměřili u prvního měření stejné hodnoty proudu na všech LED diodách. U paralelního zapojení dochází k rozdělení proudu do jednotlivých větví obvodu.

2. Jaký význam mají v zapojení spínače? Popište funkci obvodu při minimálně jednom sepnutém spínači. Doložte fotografií paralelního obvodu při sepnutém a rozepnutém tlačítku, v závěru porovnejte fotografie.

Slouží k případnému přemostění jednotlivých diod a zkratování dané části obvodu. Jestliže bychom sepnuli například spínač S1, proud by procházel přes spínač a nikoli přes LED diodu, ta by neemitovala záření.



Obrázek 41: Paralelní zapojení obvodu s rozepnutým (vlevo) a sepnutým spínačem

3. V zapojení se nachází 3 LED diody. Kolik diod bychom do obvodu mohli teoreticky zařadit?

V zapojení by teoreticky mohlo být tolik diod nebo obecně spotřebičů, jejichž úbytek napětí by byl schopen kompenzovat operační zesilovač.

4. Podle simulovaných hodnot proudu se zdá princip zapojení stejný, je tomu tak?

Tyto obvody nejsou stejné, proud v paralelním zapojení se rozděluje do několika větví a simulace tento proud rozdělila rovnoměrně podle počtu větví. My jsme si praktickým měřením ověřili, že tomu tak není.

5. Odpovídá simulace skutečnému měření?

Simulace neodpovídá praktickému měření, to je patrné z přiložených grafických závislostí, kdy je prakticky změřená hodnota v obou případech zapojení mnohem vyšší než simulovaná.

## Závěr

Podle prvního bodu měření – měření VA charakteristiky zelené LED diody – jsme zjistili napětí, při kterém se otevírá PN přechod diody. Velikost tohoto napětí stanovuje tečna spuštěná ke kolmici charakteristiky ( $U_D = 1,83 \text{ V}$ ). Tento úbytek napětí je pak na každé diodě ve zpětné vazbě operačního zesilovače. Po sestavení obvodu v programu NI MultiSim jsme mohli sledovat, zda LED indikátory simulace emitují záření, tomu tak bylo až při zvýšení napájecího napětí na  $U = 6 \text{ V}$ . Podle teoretických znalostí, podle simulace i fyzického měření bude sériovým obvodem protékat všemi diodami pouze jeden proud. Tato hodnota je v programu mnohem nižší než na platformě, což je zobrazeno ve výsledcích měření (Obrázek 39). Na rozdíl od paralelního zapojení, kdy prochází rozdílný proud všemi LED diodami je jasně vidět, že program rozdělil proud na tři konstantní hodnoty, zatímco skutečný průtok proudu této domněnce neodpovídá (Obrázek 40). Obvod poskytuje regulovatelný zdroj proudu v závislosti na změně vstupního napětí. Maximální hodnotu zpětnovazebního proudu generuje sériový obvod při hodnotě vstupního napětí  $U = 8,5 \text{ V}$ . Paralelní obvod při hodnotě napětí  $U = 10,8 \text{ V}$ , s nejvyšší hodnotou proudu na diodě LED1.

## Příloha 7: Detektor zatmění

### Cíl úlohy

Prostřednictvím této laboratorní úlohy se naučíte a zopakujete si:

- Pracovat se součástkou závislou na míře osvětlení.
- Práci a vyhledávání dat z katalogových listů součástky.
- Počítačovou simulaci v programu NI MultiSim.
- Chápat funkci komparačního obvodu.

### Zadání

1. Změřte hodnotu odporu zatemněného a odtemněného fotorezistoru.
2. Teoreticky vypočítejte hodnoty výstupního napětí děliče tvořeného odpory  $R_1$  a fotorezistoru a děliče tvořeného potenciometrem P (Schéma 12).
3. Podle znalosti základních vlastností komparačního obvodu určete, při jakých hodnotách výstupního napětí děličů bude svítit LED dioda.
4. Namodelujte obvod v programu MultiSim a stanovte procentuální hodnoty potenciometrů z 1. bodu zadání.
5. Proveďte simulaci.
6. Sestavte obvod na platformě NI ELVIS II.
7. Prakticky určete hodnotu potenciometru P, při které se začne LED dioda otevírat.
8. Změřte napěťové úrovně přiváděné na vstupy OZ tak, aby obvod plnil svou funkci správně.

### Předpokládané znalosti

Pro tuto úlohu se vyžaduje nastudování:

- Kapitola 4.4 Detektor zatmění  
HANÁČEK, Michal. *Soubor laboratorních úloh I pro modulární výukovou platformu NI ELVIS*. Ostrava, 2017. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Vladimír Kašík, Ph.D.

Zaměřte svoji pozornost na:

- Rozbor schématu ve virtuální simulaci obvodu (Schéma 12)

### Použité vybavení a součástky

- Pracovní stanice NI ELVIS II
- Počítač se softwary NI ELVISmx Instrument Launcher a NI MultiSim
- LM393; FOTO\_R = 20 k $\Omega$ ;  $R_1$  = 33 k $\Omega$ ;  $R_2$  = 360  $\Omega$ ; P = 10 k $\Omega$ ; zelenou LED diodu

## Teoretický rozbor

Fotorezistor je polovodičový dvojpól, jehož elektrický odpor se mění v závislosti na intenzitě osvětlení. Je důležité si uvědomit, že se jedná o pasivní prvek, tzn. že nepotřebuje vnější napájení pro svou činnost. Fotony světla dopadající na plochu součástky zmenšují odpor fotorezistoru, a to má za následek zmenšení plochy PN přechodu a průchod vyšších hodnot proudu. Obecně můžeme říci, že se zvyšujícím se osvětlení klesá hodnota odporu prvku. Právě této vlastnosti budeme v měření využívat.

Komparační obvod je jediný typ zapojení operačního zesilovače bez zpětné vazby. Tento obvod porovnává hodnoty vstupního napětí. Pokud je na neinvertujícím vstupu zapojení hodnota napětí, kterou překročí napětí invertujícího vstupu, je na výstupu obvodu maximální kladné, nebo záporné saturační napětí. V našem zapojení budeme pracovat s dvěma děliči napětí, které budou určovat hladinu napětí a zajišťovat tak chod obvodu.

Jelikož návrhový program NI MultiSim neposkytuje ve své databázi prvek fotorezistoru, se kterým by bylo možné provést simulaci, používáme obyčejný potenciometr zapojený tak, aby simuloval prvek fotorezistoru. Jezdcem potenciometru volíme rozsahy hodnot korespondující s hodnotami elektrického odporu foto citlivého prvku.

## Pracovní postup

### Postup k bodu č.1 zadání:

- Zapněte počítač společně s platformou NI ELVIS II.
- Spusťte program počítače NI ELVISmx Instrument Launcher.
- Vyberte položku digitálního multimetru (DMM).

*Poznámka: Budeme měřit hodnoty elektrického odporu, a tedy zvolíme ikonu ohmu ve vyskakovacím okně virtuálního prvku. Následně podle vizuálního návodu pod výběrem měřené veličiny zapojíme banánkové konektory s krokodýlkama.*

- Fotorezistor zapojte do nepájivého kontaktního pole a změřte hodnoty elektrického odporu při nezastíněné a zastíněné ploše rezistoru.

### Postup k bodu č.2 zadání:

- Vycházejte ze základního vzorce pro nezatížený dělič napětí:

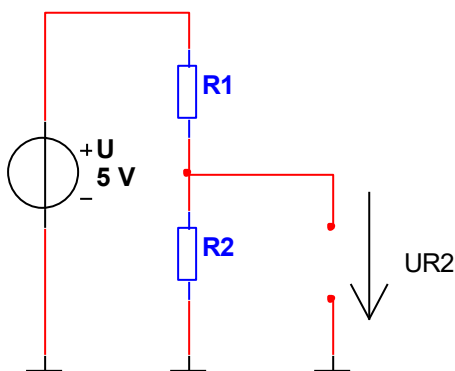


Schéma 11: Obecný nezatížený napěťový dělič

$$U_{R2} = U \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} [V]$$

kde:

$U$ ...vstupní napětí děliče.

$U_{R2}$ ...napětí na rezistoru  $R_2$ .



- Napětí spočítejte pro hodnoty fotorezistoru a napěťového děliče s potenciometrem.  
(tj.  $U_{F1}$ ,  $U_{F2}$ ,  $U_{P1}$  a  $U_{P2}$ )  
 $U_{F1}$ ...napětí fotorezistoru při nezastíněné ploše rezistoru ( $R_1 = 33 \text{ k}\Omega$ )  
 $U_{F2}$ ...napětí fotorezistoru při zastíněné ploše rezistoru ( $R_1 = 33 \text{ k}\Omega$ )  
 $U_{P1}$ ...napětí na děliči s potenciometrem při  $R_{P1} = 7 \text{ k}\Omega$  a  $R_{P2} = 3 \text{ k}\Omega$   
 $U_{P2}$ ...napětí na děliči s potenciometrem při stejných hodnotách  $R_{P1}$  a  $R_{P2}$  ( $U_{P1} = U_{P2}$ )
- Vypočítané hodnoty запиšte do tabulky (Tabulka 15).

### Postup k bodu č.3 zadání:

- Vycházejte ze základních vlastností komparačního obvodu.
- Porovnejte jednotlivá napětí z děliče s  $R_1$  a fotorezistorem a napětím z děliče napětí s potenciometrem.
- V závěru dvěma větami popište, která napěťová hodnota je větší a zda bude led dioda na výstupu obvodu svítit.

### Postup k bodu č.4 zadání:

- Schéma 12 zobrazuje obvod detektoru zatmění (komparátoru). Sestavte obvod.

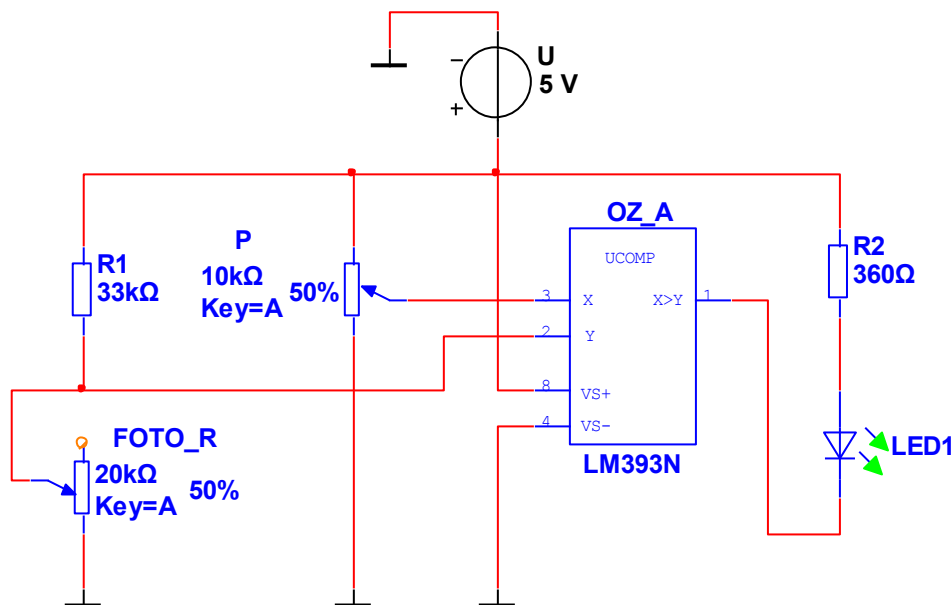


Schéma 12: Detektor zatmění (50 %;50 %)

*Poznámka: Hodnoty rezistorů je v simulaci nemožné nastavit přesně, proto budeme nastavovat přibližné hodnoty – simulační potenciometry jsou omezeny na nastavování hodnoty v řádu 5 %.*

## Postup k bodu č.5 zadání:

- Do obvodu zařazujeme napěťové sondy za děliče napětí, abychom změřili napětí, právě to nás bude zajímat.
- Měňte hodnoty rezistorů podle procentuálního poměru z bodu zadání číslo 1.

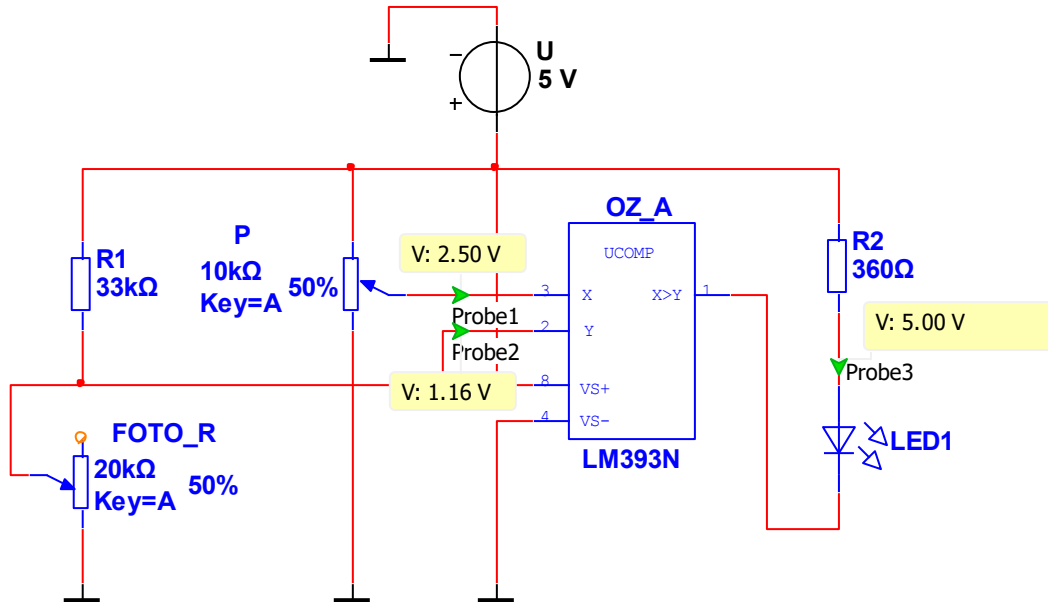


Schéma 13: Zařazení měřicích sond do obvodu

- Simulované hodnoty zapište do tabulky (Tabulka 17).
- V závěru srovnajte, jak se od sebe lišily teoretické hodnoty a simulované hodnoty napětí.

## Postup k bodu č.6 zadání:

- Sestavte obvod na platformě NI ELVIS II.
- Po kontrole správnosti zapojení vyučujícím, přiveďte napětí na PROTOTYPING BOARD.

## Postup k bodu č.7 zadání:

- Prakticky určete hodnotu potenciometru P, při které se začne LED dioda otevírat.
- Hodnotu měřte při zatemněné ploše fotorezistoru.
- Tuto hodnotu uveďte do závěru a do příslušné tabulky (Tabulka 18).

## Postup k bodu č.8 zadání:

- Změřte napěťové úrovně přiváděné na vstupy OZ tak, aby obvod plnil svou funkci správně.
- Pod pojmem, *aby obvod plnil svou funkci správně*, se rozumí to, že jakmile se zatemní plocha fotorezistoru, LED dioda se rozsvítí.

## Výsledky

Tabulka 14: Hodnoty fotorezistoru

	Odpor fotorezistoru [kΩ]
Nezastíněná plocha rezistoru ( $R_{F1}$ )	
Zastíněná plocha rezistoru ( $R_{F2}$ )	

Tabulka 15: Vypočítané hodnoty napěťových děličů

	$U_{VYP}$ [V]
$U_{F1}$	
$U_{F2}$	
$U_{P1} = U_{P2}$	

Tabulka 16: Naměřené a simulační hodnoty odporů

	Změřené hodnoty [kΩ]	MultiSim [%]
$R_{F1}$		
$R_{F2}$		
$R_{P1}$	7	
$R_{P2}$	3	

Tabulka 17: Simulované hodnoty napěťových děličů

	$U_{MULTISIM}$ [V]
$U_{F1}$	
$U_{F2}$	
$U_{P1} = U_{P2}$	

Tabulka 18: Prakticky změřené hodnoty napěťových děličů

$R_P = k\Omega$	$U_{ZMÉR}$ [V]
$U_F$	
$U_P$	

## Kontrolní otázky

1. Prostudujte dokumentaci obvodu LM393 a uveďte, proč nejdou vývody 5, 6 a 7 připojeny.
2. Ve schématu v programu NI MultiSim vyznačte a doložte vývody 5, 6 a 7 OZ.
3. Jakou funkci má v obvodu rezistor  $R_2$ ? Vysvětlete proč na něm není úbytek napětí při nastavení obou potenciometrů na 50 % (Schéma 13).
4. Proč je dioda připojena na výstup integračního obvodu v závěrném směru?

<b>VŠB-TU Ostrava</b>		<b>KATEDRA KYBERNETIKY A BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ</b>		<b>Fakulta elektrotechniky a informatiky</b>
Datum měření:		<b>4</b>	<b>DETEKTOR ZATMĚNÍ</b>	Jméno a příjmení 1. studenta:
Datum odevzdání:	Hodnocení:			Jméno a příjmení 2. studenta:

## Použité vybavení a součástky

- Pracovní stanice NI ELVIS II
- Počítač se softwary NI ELVISmx Instrument Launcher a NI MultiSim
- LM393; FOTO\_R = 20 kΩ; R<sub>1</sub> = 33 kΩ; R<sub>2</sub> = 360 Ω; P = 10 kΩ; zelenou LED diodu

## Popis měření

- Pomocí digitálního multimetru platformy jsme zapojili do příslušných zdířek banánkové svorky a krokodýlkama změřili elektrický odpor fotorezistoru, hodnoty jsou uvedeny ve výsledcích měření (Tabulka 19).
- Následně jsme vypočítali napětí na výstupních svorkách nezatíženého děliče napětí pro nezastíněný a zastíněný fotorezistor a pro dělič s potenciometrem, hodnoty jsou uvedeny ve výsledcích měření (Tabulka 20).
- Vlastnosti komparačního obvodu popisujeme v závěru protokolu o měření.
- Obvod jsme namodelovali v programu NI MultiSim, a stanovili procentuální hodnotu rezistorů (Tabulka 21).
- Provedli jsme programovou simulaci a výsledky uvádíme ve výsledcích měření (Tabulka 22).
- Sestavili jsme obvod na platformě a nastavili jsme hodnotu potenciometru P (při zatemnění fotorezistoru).
- Změřili jsme napěťové hodnoty obou děličů, výsledky uvádíme v tabulce (Tabulka 23).

## Výsledky měření

Tabulka 19: Odpor fotorezistoru (ukázkový protokol)

	<b>Odpor fotorezistoru [kΩ]</b>
<b>Nezastíněná plocha rezistoru (R<sub>F1</sub>)</b>	2,9207
<b>Zastíněná plocha rezistoru (R<sub>F2</sub>)</b>	19,832

Tabulka 20: Vypočítané hodnoty napěťových děličů (ukázkový protokol)

	<b>U<sub>VYP</sub> [V]</b>
<b>U<sub>F1</sub></b>	0,407
<b>U<sub>F2</sub></b>	1,877
<b>U<sub>P1</sub> = U<sub>P2</sub></b>	1,5

Tabulka 21: Naměřené a simulační hodnoty odporů (ukázkový protokol)

	Změřené hodnoty [kΩ]	MultiSim [%]
$R_{F1}$	2,9207	15
$R_{F2}$	19,832	100
$R_{P1}$	7	70
$R_{P2}$	3	70

Tabulka 22: Simulované hodnoty napětových děličů (ukázkový protokol)

	$U_{MULTISIM}$ [V]
$U_{F1}$	0,417
$U_{F2}$	1,89
$U_{P1} = U_{P2}$	1,5

Tabulka 23: Prakticky změřené hodnoty napětových děličů (ukázkový protokol)

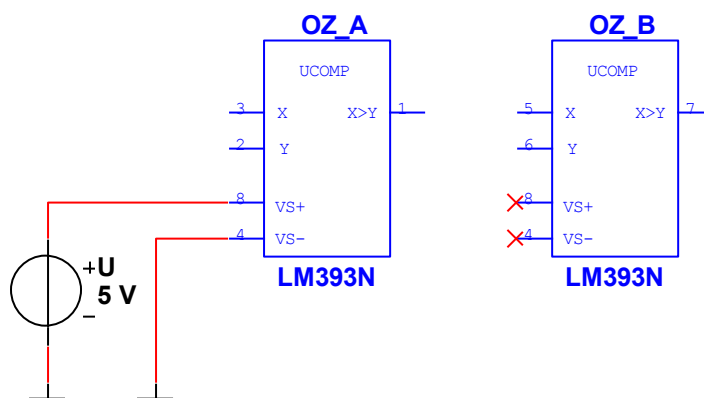
$R_P = 4,82 \text{ k}\Omega$	$U_{ZMĚŘ}$ [V]
$U_F$	2,58
$U_P$	2,31

## Odpovědi na otázky

1. Prostudujte dokumentaci obvodu LM393 a uveďte, proč nejdou vývody 5, 6 a 7 připojeny.

Jedná se o dvojitý komparátor – využíváme pouze vstupy 1, 2, 3 a vstupy pro napájení 4 a 8. Ostatní vstupy zahrnují druhý komparační obvod, který při měření nevyužíváme.

2. Ve schématu v programu NI MultiSim vyznačte a doložte vývody 5, 6 a 7 OZ.



Obrázek 42: Doložení druhého komparačního obvodu

Vidíme, že vstupy 4 a 8 program u OZ\_B uzamknul. To dosvědčuje integritu celku.

3. Jakou funkci má v obvodu rezistor  $R_2$ ? Vysvětlete proč na něm není úbytek napětí při nastavení obou potenciometrů na 50 % (Schéma 13).

Na rezistoru není úbytek napětí, protože hodnota napětí na invertujícím vstupu (Y) je nižší než hodnota napětí na invertujícím vstupu (X). Výstup obvodu zůstává zavřený a proud obvodem neprotéká.

4. Proč je dioda připojena na výstup integračního obvodu v závěrném směru?

Pokud je splněna komparační podmínka, proud obvodem protéká od zdroje, přes  $R_2$ , LED diodu a přes komparační obvod je uzemněn. Dioda je tedy připojena správně a obvod funguje.

## **Závěr**

Z teoretických znalostí víme, že odpor fotorezistoru se mění v závislosti na intenzitě osvětlení, konkrétně se vzrůstajícím osvětlením klesá hodnota elektrického odporu fotorezistoru. To jsme si ověřili v prvním bodu zadání, kdy jsme měřili elektrický odpor fotorezistoru při zastíněné osvětlovací ploše i při odkryté a vystavené plnému osvětlení. Vypočítané hodnoty (Tabulka 20) se téměř shodují se simulovanými hodnotami napětí v programu NI MultiSim (Tabulka 22). Základní vlastností komparačního obvodu je porovnávat napětí na jeho vstupech. Porovnáváme tedy napětí přivedené na neinvertující vstup z děliče tvořeného potenciometrem P a z děliče tvořeného fotorezistorem FOTO\_R a rezistorem R1. Pokud bude napětí přiváděné na invertující vstup nižší hodnoty než napětí přiváděné na vstup neinvertující, dioda nebude svítit. Pokud bude toto napětí vyšší, dioda bude emitovat záření. U nastavování procentuálních hodnot jednotlivých rezistorů jsme museli brát v úvahu limity softwaru a tedy to, že přesnou hodnotu rezistorů nešlo nastavit. Kvůli této skutečnosti musíme v simulovaném obvodu počítat s chybou. Hodnotu elektrického odporu jsme určovali pomocí virtuálního multimetru. Po fyzickém realizování obvodu jsme nastavili hodnotu potenciometru do hodnoty, ve které plnil obvod svou funkci ( $R_p = 4,82 \text{ k}\Omega$ ) a změřili hodnoty napětí přiváděné na vstupy zařízení (Tabulka 23).

## Příloha 8: Měření teploty

### Cíl úlohy

Prostřednictvím této laboratorní úlohy se naučíte a zopakujete si:

- Pracovat s teplotně závislou součástíkou.
- Práci a vyhledávání dat z katalogových listů součástky.
- Pracovat s grafickým programovacím prostředím NI LabVIEW.
- Pracovat s virtuálním DAQ Assistantem.

### Zadání

1. Prostudujte si přílohu – Příloha 1: Podrobný popis prvků platformy NI ELVIS II.
2. Prostudujte si přílohu – Příloha 4: Seznámení s programem NI LabVIEW.
3. Prostudujte si dokumentaci daného termistoru.
4. Určete teoretické hodnoty napětí na výstupu děliče.
5. Odvoďte vzorec pro výpočet elektrického odporu termistoru ( $R_1$ ).
6. V Programu NI LabVIEW namodelujte DAQ Assistant.
7. Na výstup virtuálního prvku aplikujte odvozený vzorec pro odpor termistoru ( $R_1$ ).
8. Namodelujte zbytek programu.
9. Sestavte obvody na platformě NI ELVIS II.
10. Pomocí programu NI LabVIEW měřte teplotu ve  $^{\circ}\text{C}$ .
11. Vykreslete grafické závislosti.

### BONUS

*Upravte program tak, abyste byli schopni měřit teplotu ve stupních Celsia i Kelvinech.*

### Předpokládané znalosti

Pro tuto úlohu se vyžaduje nastudování:

- Kapitola 4.5 Měření teploty  
HANÁČEK, Michal. *Soubor laboratorních úloh I pro modulární výukovou platformu NI ELVIS*. Ostrava, 2017. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Vladimír Kašík, Ph.D.

**Zaměřte svoji pozornost na:**

- Příloha 1: Podrobný popis prvků platformy NI ELVIS II
- Příloha 4: Seznámení s programem NI LabVIEW

### Použité vybavení a součástky

- Pracovní stanice NI ELVIS II
- Počítač se softwary NI ELVISmx Instrument Launcher a NI LabVIEW
- TL064; keramický  $R_0 = 56\ \Omega/10\ \text{W}$ ; NTC termistor  $R_1 = R_T = 10\ \text{k}\Omega$ ;  $R_2 = 1\ \text{k}\Omega$

## Teoretický rozbor

Teplotních prvků je dnes dostupná velická škála. Pro naše účely si vystačíme s NTC termistorem, což je prvek s negativním teplotním koeficientem – hodnota odporu součástky se vzrůstající teplotou klesá (z hodnot několika desítek  $k\Omega$ , může klesnout až na několik stovek  $\Omega$ ). Mluvíme tedy o značném teplotním rozsahu, ve kterém může prvek pracovat. Různé typy mají však různé teplotní rozsahy a ani my nevyužijeme v měření celou teplotní škálu. Budeme pracovat v teplotním rozsahu od 15 °C do 90 °C. Každý termistor má teplotní křivku, která charakterizuje jeho vlastnosti a je určená výrobcem. Námi zvolené součástce odpovídá charakteristika s číselným označením 2904.

Pro určení teploty potřebujeme vytvořit program, který z nic neříkající hodnoty odporu dokáže vyčíslit teplotu ve °C, případně v K. Pro tyto účely budeme využívat program NI LabVIEW a prvek DAQ Assistant (popsáno v příloze 4). Vzorec pro výpočet teploty je uveden v hlavičce charakteristických hodnot termistorů a z tohoto vztahu vycházíme.

Elektrickou veličinou, se kterou budeme pracovat je napětí. Termistor s rezistorem jsou zapojeny jako napěťový dělič, jehož výstup přivádíme na sledovač napětí. Výstupní napětí sledovače je tedy replikou vstupního na vyšší energetické úrovni. Výstupní svorky zapojujeme na analogové vstupy platformy NI ELVIS II.

## Pracovní postup

### Postup k bodu č.1 zadání:

- Prostudujte si přílohu – Příloha 1: Podrobný popis prvků platformy NI ELVIS II.
- Svou pozornost věnujte především rozmístění analogových vstupů platformy.

### Postup k bodu č.2 zadání:

- Podrobně si prostudujte přílohu – Příloha 4: Seznámení s programem NI LabVIEW.

### Postup k bodu č.3 zadání:

- Dokumentace termistoru, společně s hodnotami standardizovaných charakteristik: NTC thermistors for temperature measurement. EPCOS [online]. 2009 [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.118-010.1.pdf>
- Danému termistoru odpovídá charakteristika číslo 2904.
- Hodnoty elektrického odporu při 15 °C ( $R_{T15}$ ) a při 90 °C ( $R_{T90}$ ) zapište do tabulky (Tabulka 24).

### Postup k bodu č.4 zadání:

- Vypočtete hodnoty výstupního napětí na svorkách nezatíženého napěťového děliče při hodnotách odporu  $R_{T15}$  a  $R_{T90}$ .
- Hodnota  $R_1 = R_T$ ; hodnota  $R_2 = 1\,000\,\Omega$ ;  $U = 5\,V$ .
- Vypočítané hodnoty zapište do tabulky (Tabulka 24).

*Poznámka: Tyto hodnoty jsou nezbytné pro další bod zadání.*



## Postup k bodu č.5 zadání:

- Podle vztahu z předchozího bodu zadání (nezatížený napěťový dělič) odvoďte vzorec pro výpočet elektrického odporu termistoru ( $R_1$ ).
- Vzorec uveďte k výsledkům měření.

*Poznámka: Tento vzorec je nezbytný pro další bod zadání.*

## Postup k bodu č.6 zadání:

- Postupujte podle přílohy 4: Seznámení s programem NI LabVIEW.
- V Block Diagramu vkládáme DAQ Assistant, jako měřenou veličinu vybíráme napětí.
- Jako vstupní piny volte analogové vstupy  $ai0$ .
- Minimální a maximální hodnotu napětí volte z vypočítaných hodnot z předchozího bodu zadání.
- Volte kontinuální měření.

## Postup k bodu č.7 zadání:

- Podle přílohy 4 na výstup virtuálního prvku aplikujte vzorec pro výpočet  $R_1$  odvozený v předchozím bodu zadání.
- Zobrazte hodnotu odporu pomocí *Numeric Indicator*.

## Postup k bodu č.8 zadání:

- Podle rovnice pro výpočet teploty (4) namodelujte zbytek programu.

$$x = \frac{1}{\left( \frac{\ln\left(\frac{R_T}{R_{25}}\right)}{4177,991} + \frac{1}{298,15} \right)} - 273,15 \quad (4)$$

- Dbejte na správnost poměru hodnot rezistorů ( $R_{25}$  = konstanta).
- Teplotu zobrazte na *Front panelu* ve °C (pomocí teploměru i jako číselnou hodnotu).
- Výslednou verzi programu přiložte do výsledků měření.

*Poznámka: Teploměr nalezneme v okně Front Panel pod záložkou Numeric → Thermometer. Číselný indikátor nalezneme pod záložkou Numeric → Numeric Indicator. Tyto dva prvky k sobě volíme paralelně – přijímají oba stejnou hodnotu. Blok přirozeného logaritmu nalezneme v Block Diagramu pod záložkou Mathematics → Elementary → Exponential → ln.*

## Postup k bodu č.9 zadání:

- Schéma 14 zobrazuje zapojení teplotního prvku a měřicí soustavy. Sestavte obvody na platformě NI ELVIS II.

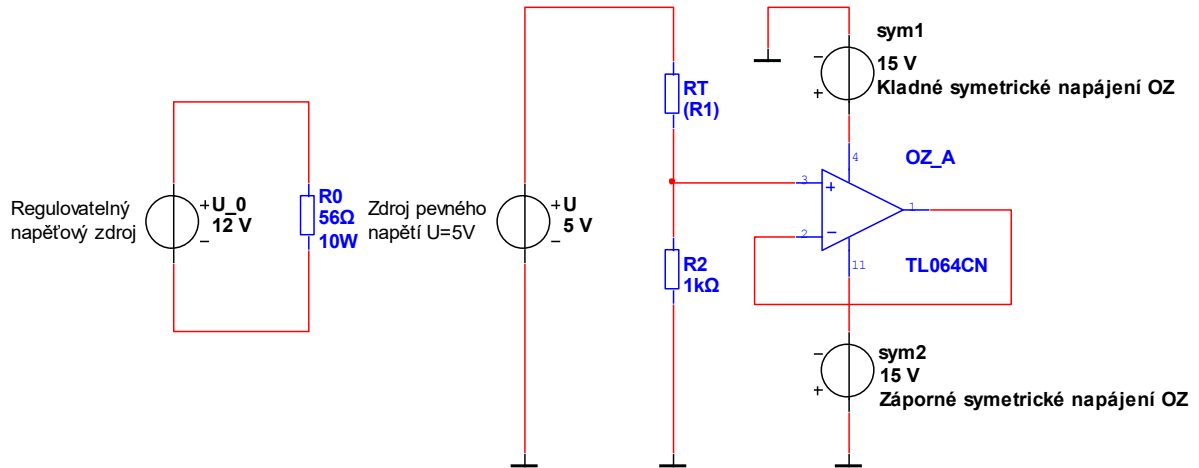


Schéma 14: Zapojení teplotního prvku a měřicí soustavy

## Postup k bodu č.10 zadání:

- Spustíte program počítače NI ELVISmx Instrument Launcher.
- Vyberte položku regulovatelného napěťového zdroje – nastavte hodnotu  $U_0 = +12\text{ V}$ .
- Po kontrole správnosti zapojení vyučujícím, přiveďte napětí na PROTOTYPING BOARD.
- Spustíte regulovatelný napěťový zdroj.
- Měřte hodnoty teploty v závislosti na odporu.
- Hodnoty teplot zapisujte do tabulky (Tabulka 25).
- Vykreslete grafické závislosti, graf uveďte ve výsledcích měření.

## Výsledky

Tabulka 24: Hodnoty odporu a vypočítaného napětí termistoru

	Hodnota el. odporu [ $\Omega$ ]	Vypočítané napětí U [V]
$R_{T15}$		
$R_{T90}$		

Odvozený vzorec pro výpočet elektrického odporu termistoru ( $R_T$ )

Výsledná verze programu – Block Diagram

Tabulka 25: Naměřené hodnoty teploty ve  $^{\circ}\text{C}$

$R_T$ [ $\Omega$ ]	T [ $^{\circ}\text{C}$ ]
9 100	
7 900	
6 300	
5 100	
4 100	
3 300	
2 700	
2 200	
1 800	
1 600	

Graf závislosti teploty na odporu

## Kontrolní otázky

1. Co za hodnoty snímáme pomocí prvku DAQ Assistant? Proč bylo nutné teoreticky vypočítat hodnoty napětí napěťového děliče?
2. Proč je program ve struktuře *While Loop*?
3. Čeho jsme dosáhli aplikováním vzorce na výstup DAQ Assistantu? (7. bod zadání)
4. Popište význam jednotlivých konstant v programu NI LabVIEW.
5. Souhlasí naměřené hodnoty s dokumentací součástky? Jestliže se liší, popište jak.

<b>VŠB-TU Ostrava</b>		<b>KATEDRA KYBERNETIKY A BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ</b>		<b>Fakulta elektrotechniky a informatiky</b>
Datum měření:		<b>5</b>	<b>MĚŘENÍ TEPLOTY</b>	Jméno a příjmení 1. studenta:
Datum odevzdání:	Hodnocení:			Jméno a příjmení 2. studenta:

## Použité vybavení a součástky

- Pracovní stanice NI ELVIS II
- Počítač se softwary NI ELVISmx Instrument Launcher a NI LabVIEW
- TL064; keramický  $R_0 = 56 \Omega/10 \text{ W}$ ; NTC termistor  $R_1 = R_T = 10 \text{ k}\Omega$ ;  $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$

## Popis měření

- Prostudovali jsme si základní rozmístění prvků na platformě NI ELVIS II, analogové vstupy jsou umístěny v levé části pracovního pole na horních pracovních zdírkách.
- V další příloze jsme nastudovali základní matematické operace v programu NI LabVIEW, stejně jako tvorbu virtuálního prvku DAQ Assistantu a smyček.
- V dokumentaci jsme našli podle čísla charakteristiky uvedené v zadání daný termistor a hodnoty odporu uvedli do tabulky (Tabulka 26).
- Následně bylo naším úkolem spočítat hodnoty výstupního napětí. Vycházeli jsme ze vzorce pro nezatížený napěťový dělič. Hodnoty  $R_1$  jsme volili podle předchozího bodu zadání. Výsledky jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 26).
- Ze vzorce pro nezatížený napěťový dělič jsme odvodili vztah pro výpočet hodnoty odporu termistoru (hodnoty rezistoru  $R_1$ ). Vztah je uveden ve výsledcích měření.
- Podle přílohy 4 jsme ve grafickém programovacím softwaru NI LabVIEW vložili DAQ Assistant. Rozsahy napětí jsme volili minimální hodnotu 2 V a maximální hodnotu 5 V. Jako měřicí svorky jsme volili analogový vstup s označením *ai0*.
- Na výstup virtuálního prvku jsme aplikovali vzorec pro výpočet  $R_1$ .
- Výstupní hodnotu jsme dále zpracovávali podle vzorce pro výpočet teploty uvedeného v zadání. Výsledná verze programu je uvedena ve výsledcích měření (Obrázek 43).
- Sestavili jsme obvod s keramickým rezistorem, který jsme připojili na zdroj regulovatelného napětí a měřicí obvod, který jsme připojili na zdroj pevného napětí  $U = 5 \text{ V}$ .
- Na PROTOTYPING BOARD jsme přivedli napětí a spustili jsme VPS, měřili jsme teplotu podle změn hodnot odporu  $R_T$ . Výsledky jsou uvedeny ve výsledcích měření (Tabulka 27).

### BONUS

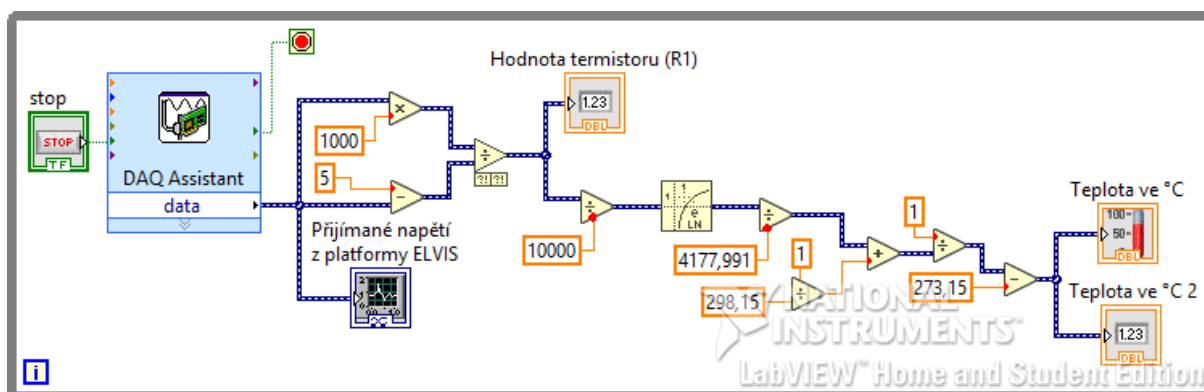
- Použili jsme strukturu *Case*, pro měření ve  $^{\circ}\text{C}$  jsme volili hodnotu *True*, pro měření v K jsme volili hodnotu *False*. *Block Diagram* a *Front panel* jsou uvedeny ve výsledcích měření.

## Výsledky měření

Tabulka 26: Hodnoty odporu a vypočítaného napětí termistoru (ukázkový protokol)

	Hodnota el. odporu [ $\Omega$ ]	Vypočítané napětí U [V]
$R_{T15}$	16 204,00	4,709
$R_{T90}$	760,68	2,160

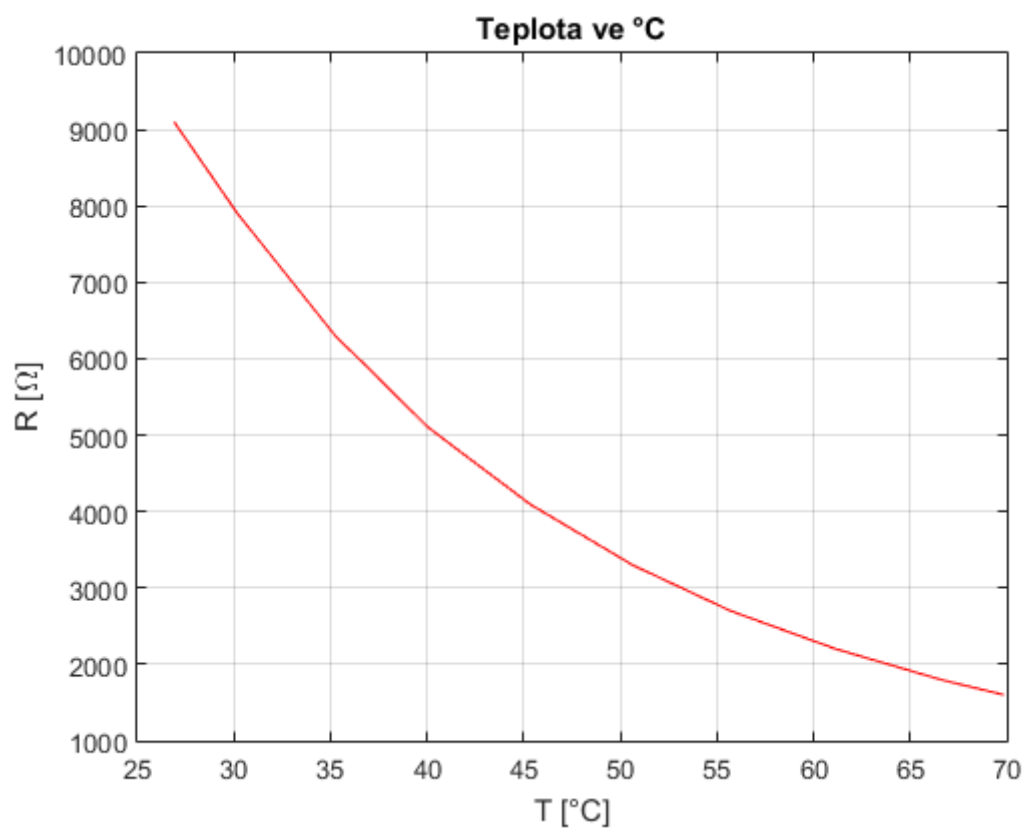
$$R_1 = \frac{R_2 \times U_2}{U_1 - U_2} [\Omega]$$



Obrázek 43: Výsledná verze programu (Block Diagram)

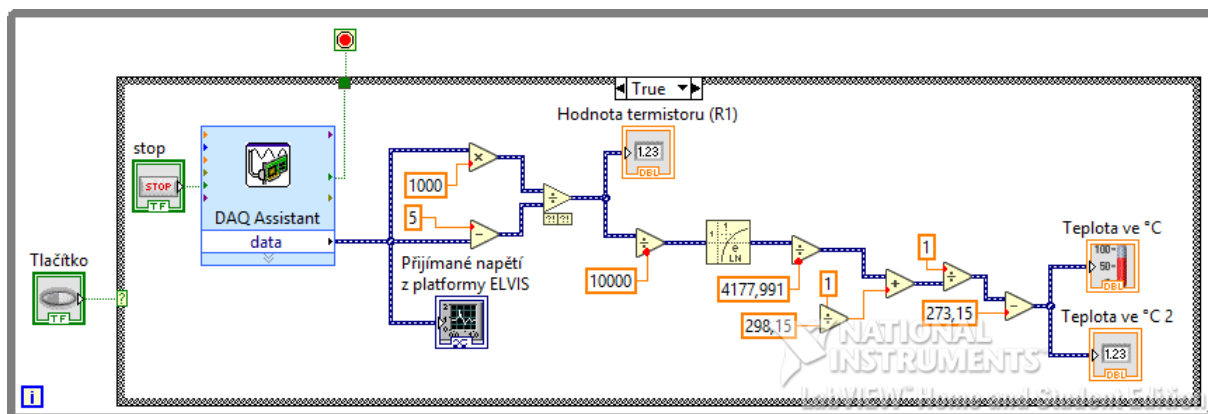
Tabulka 27: Naměřené hodnoty teploty ve °C (ukázkový protokol)

$R_T$ [ $\Omega$ ]	T [ $^{\circ}\text{C}$ ]
9 100	26,9067
7 900	30,1867
6 300	35,2497
5 100	40,0663
4 100	45,2997
3 300	50,6366
2 700	55,6999
2 200	61,1665
1 800	66,5848
1 600	69,8550

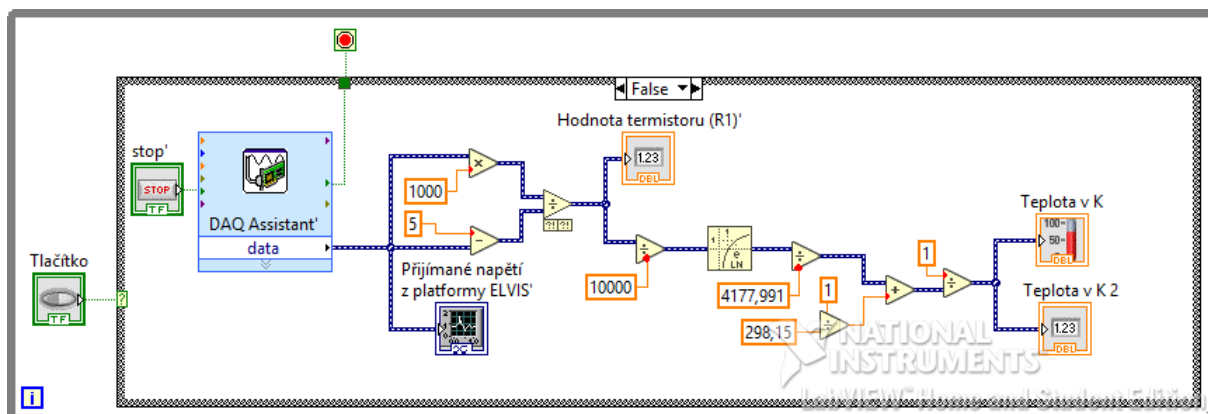


Obrázek 44: Teplota měřená termistorem ve  $^{\circ}\text{C}$

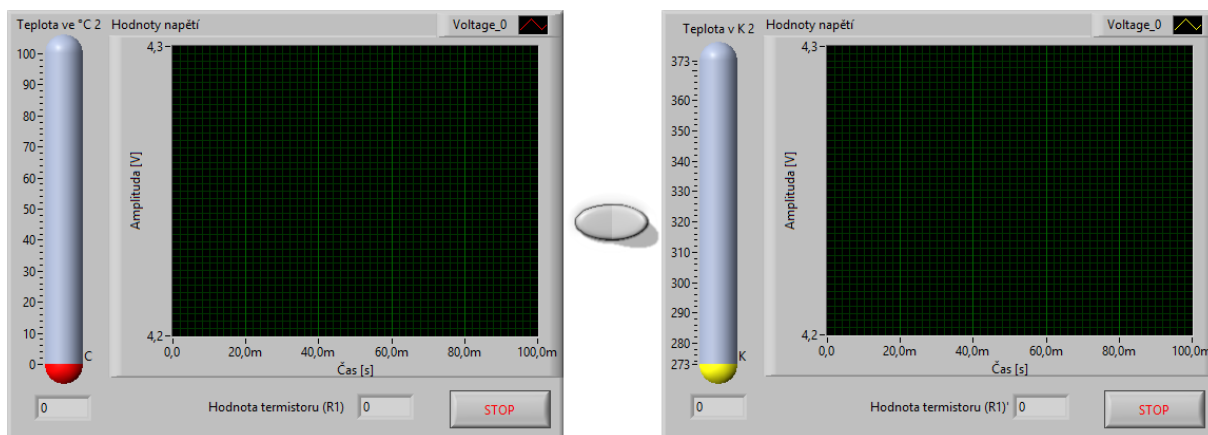
BONUS



Obrázek 45: Struktura Case programu pro přepoččet teploty ve  $^{\circ}\text{C}$  (Block Diagram)



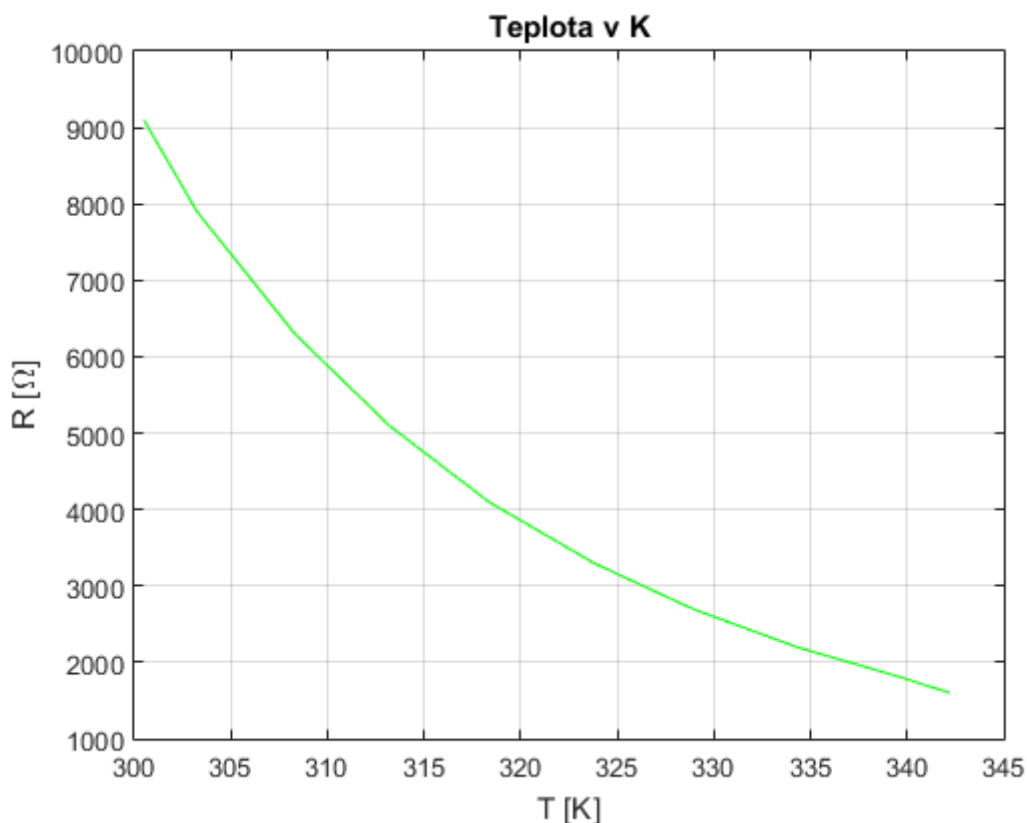
Obrázek 46: Struktura Case programu pro přepočet teploty v K (Block Diagram)



Obrázek 47: Struktura Case programu pro přepočet teploty ve °C a K (Front Panel)

Tabulka 28: Naměřené hodnoty teploty v K (ukázkový protokol)

$R_T$ [ $\Omega$ ]	T [K]
9 100	300,491
7 900	303,244
6 300	308,307
5 100	313,183
4 100	318,346
3 300	323,778
2 700	328,888
2 200	334,284
1 800	339,719
1 600	342,203



Obrázek 48: Teplota měřená termistorem v K

## Odpovědi na otázky

1. Co za hodnoty snímáme pomocí prvku DAQ Assistant? Proč bylo nutné teoreticky vypočítat hodnoty napětí napěťového děliče?

Pomocí tohoto virtuálního prvku snímáme hodnoty napětí z napěťového děliče skládající se z termistoru ( $R_1$ ) a rezistoru  $R_2$ . Teoretické hodnoty výstupního napětí bylo potřeba spočítat pro určení maximálních a minimálních hodnot napětí pro konfiguraci DAQ Assistantu.

2. Proč je program ve struktuře *While Loop*?

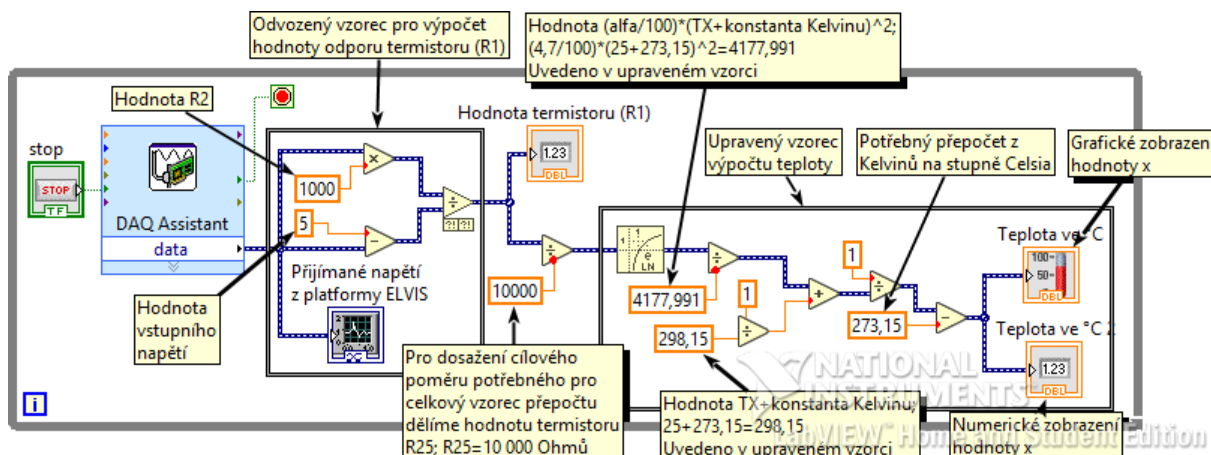
Struktura *While Loop* slouží k zacyklení části programu, tzn. neustálé opakování části kódu, dokud uživatel nedá tlačítkem pokyn k přerušení smyčky. S touto strukturou souhlasíme při dokončování vkládání prvku DAQ Assistantu v případě, že jsme zvolili kontinuální měření.

3. Čeho jsme dosáhli aplikováním vzorce na výstup DAQ Assistantu? (7. bod zadání)

Dosáhli jsme přepočtu výstupního napětí virtuálního prvku DAQ na hodnotu, odpovídající elektrickému odporu součástky. Tuto hodnotu zobrazujeme pomocí prvku s označením *Numeric Indicator*.



4. Popište význam jednotlivých konstant v programu NI LabVIEW.



Obrázek 49: Podrobně popsáný program přepočtu teploty (LabVIEW)

5. Souhlasí naměřené hodnoty s dokumentací součástky? Jestliže se liší, popište jak

Podle dokumentace součástky se naměřené hodnoty liší jen minimálně. Poměr odporů uvedený v dokumentaci násobíme konstantou 10 000 pro přesné určení odporu. Pro přesné odečtení teploty byly hodnoty odporu termistoru jen těžko nastavitelné, proto se hodnoty vychylovaly od výrobcem stanovených charakteristik.

## Závěr

U technické dokumentace součástky je hodnota odporu uvedena v poměru ku hodnotě termistoru při 25 °C, na tuto skutečnost jsme si museli dát pozor a tento poměr vynásobit hodnotou termistoru, tak jsme docílili přesné hodnoty odporu při dané teplotě. Hodnoty odporu jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 26). Bylo důležité si uvědomit, že díky prvku DAQ Assistant snímáme z daných analogových vstupů (v našem případě AI0) napětí, nikoli odpor, který potřebujeme k určení správné teploty. Ten musíme z hodnoty napětí vypočítat odvozeným vzorcem pro výpočet elektrického odporu termistoru. Následoval přepočít na poměr odporů uvedený ve specifických tabulkách termistoru a výsledná rovnice s konstantami, popsány na obrázku v kontrolních otázkách měření (Obrázek 49). Zájmovou hodnotu x neboli hodnotu teploty zobrazujeme graficky i numericky.

Jelikož jsme hodnotu elektrického odporu termistoru snímali díky virtuálnímu prvku kontinuálně – ve smyčce, byly změny skokové. To způsobilo i skokovou změnu napětí a kvůli této skutečnosti jsme nemohli odečítat hodnoty teplot s dostatečnou přesností a dopustili jsme se určité chyby měření. Tyto naměřené hodnoty jsou uvedeny ve výsledcích měření (Tabulka 27 a Tabulka 28).